



PATENT
1794-0157P

IN THE U.S. PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant: Hideki HIRAYAMA et al. Conf.:
Appl. No.: 10/626,661 Group:
Filed: July 25, 2003 Examiner:
For: ULTRAVIOLET LIGHT-EMITTING DEVICE IN
WHICH P-TYPE SEMICONDUCTOR IS USED

L E T T E R

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

September 25, 2003

Sir:

Under the provisions of 35 U.S.C. § 119 and 37 C.F.R. § 1.55(a), the applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on the following application(s):

| <u>Country</u> | <u>Application No.</u> | <u>Filed</u> |
|----------------|------------------------|------------------|
| JAPAN | 2003-017397 | January 27, 2003 |

A certified copy of the above-noted application(s) is(are) attached hereto.

If necessary, the Commissioner is hereby authorized in this, concurrent, and future replies, to charge payment or credit any overpayment to Deposit Account No. 02-2448 for any additional fee required under 37 C.F.R. §§ 1.16 or 1.17; particularly, extension of time fees.

Respectfully submitted,

BIRCH, STEWART, KOLASCH & BIRCH, LLP

By Joe McKinney Muncy
Joe McKinney Muncy, #32,334

P.O. Box 747
Falls Church, VA 22040-0747
(703) 205-8000

KM/db
1794-0157P

Attachment(s)

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

Hideko HIRAYAMA et al
1794-0157P
10/626,661
July 25, 2003
BSKB, U.S.P.
(703) 205-8000

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office

出願年月日

Date of Application: 2003年 1月 27日

出願番号

Application Number: 特願 2003-017397

[ST.10/C]:

[JP 2003-017397]

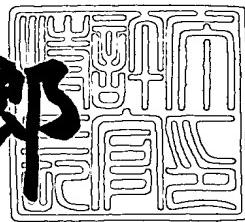
出願人

Applicant(s): 理化学研究所

2003年 6月 17日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特 2003-3047322

【書類名】 特許願

【整理番号】 RK15004J

【特記事項】 特許法第30条第1項の規定の適用を受けようとする特許出願

【提出日】 平成15年 1月27日

【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所内

【氏名】 平山 秀樹

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所内

【氏名】 岩井 荘八

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所内

【氏名】 青柳 克信

【特許出願人】

【識別番号】 000006792

【氏名又は名称】 理化学研究所

【代理人】

【識別番号】 100087000

【住所又は居所】 東京都豊島区西池袋1-5-11-404

【弁理士】

【氏名又は名称】 上島 淳一

【電話番号】 03-5992-2315

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 058609

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9207956

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 p型半導体を用いた紫外発光素子

【特許請求の範囲】

【請求項1】 p型半導体を用いた紫外発光素子において、

前記p型半導体は、

複数種類の結晶原料を交互にパルス状に供給して結晶成長を行うときに、

前記複数種類の結晶原料の全ての種類の供給が1回ずつ行われる1サイクル内において、所定の種類の結晶原料の供給開始と同時あるいは後であり、かつ、前記所定の種類以外の種類の結晶原料の供給開始より前において、p型不純物原料を供給して形成した

p型半導体を用いた紫外発光素子。

【請求項2】 請求項1に記載のp型半導体を用いた紫外発光素子において

前記所定の種類の結晶原料はII族元素であり、

前記所定の種類以外の種類の結晶原料はV族元素である

p型半導体を用いた紫外発光素子。

【請求項3】 請求項1に記載のp型半導体を用いた紫外発光素子において

前記所定の種類の結晶原料はII族元素であり、

前記所定の種類以外の種類の結晶原料はVII族元素である

p型半導体を用いた紫外発光素子。

【請求項4】 請求項2に記載のp型半導体を用いた紫外発光素子において

前記II族元素はAlとGaであり、前記V族元素はNであり、

前記AlおよびGaの供給と前記Nの供給とを、交互にパルス状に行い、

前記p型不純物原料はMgである

p型半導体を用いた紫外発光素子。

【請求項5】 p型半導体を用いた紫外発光素子において、

前記p型半導体は、

第1のタイミングにおいてTMG_a、TMA₁およびCP₂Mgの供給を開始し、TMG_a、TMA₁およびCP₂Mgを所定時間供給した第2のタイミングにおいてTMG_a、TMA₁およびCP₂Mgの供給を終了する第1のステップと、

TMG_a、TMA₁およびCP₂Mgの供給を終了した第2のタイミングの直後あるいは後においてNH₃の供給を開始し、NH₃を所定時間供給した第3のタイミングにおいてNH₃の供給を終了する第3のステップと

よりなるサイクルを、所定の回数繰り返して形成した

p型半導体を用いた紫外発光素子。

【請求項6】 p型半導体を用いた紫外発光素子において、

前記p型半導体は、

複数種類の結晶原料を交互にパルス状に供給して結晶成長を行うときに、

前記複数種類の結晶原料の全ての種類の供給が1回ずつ行われる1サイクル内において、所定の複数種類の結晶原料の供給開始と同時あるいは後であり、かつ、前記所定の複数種類以外の種類の結晶原料の供給開始より前において、p型不純物原料とn型不純物原料とをそれぞれ近接したタイミングで供給して形成したp型半導体を用いた紫外発光素子。

【請求項7】 請求項6に記載のp型半導体を用いた紫外発光素子において

前記p型半導体は、

前記所定の複数種類の結晶原料の供給開始に同期して前記p型不純物原料の供給を開始し、前記p型不純物原料の供給を終了した後に前記n型不純物原料の供給を開始して、前記所定の複数種類以外の種類の結晶原料の供給開始より前に前記n型不純物の供給を終了して形成した

p型半導体を用いた紫外発光素子。

【請求項8】 請求項6に記載のp型半導体を用いた紫外発光素子において

前記p型半導体は、

前記p型不純物原料と前記n型不純物原料とがそれぞれ同時に供給される期

間を有するようにして形成された

p型半導体を用いた紫外発光素子。

【請求項9】 請求項6、請求項7または請求項8のいずれか1項に記載の
p型半導体を用いた紫外発光素子において、

前記所定の複数種類の結晶原料はIII族元素であり、

前記所定の複数種類以外の種類の結晶原料はV族元素である

p型半導体を用いた紫外発光素子。

【請求項10】 請求項6、請求項7または請求項8のいずれか1項に記載
のp型半導体を用いた紫外発光素子において、

前記所定の複数種類の結晶原料はIII族元素であり、

前記所定の複数種類以外の種類の結晶原料はVI族元素である

p型半導体を用いた紫外発光素子。

【請求項11】 請求項9に記載のp型半導体を用いた紫外発光素子におい
て、

前記III族元素はAlとGaであり、前記V族元素はNであり、

前記AlおよびGaの供給と前記Nの供給とを、交互にパルス状に行い、

前記第1の不純物原料はMgであり、

前記第2の不純物原料はSiである

p型半導体を用いた紫外発光素子。

【請求項12】 p型半導体を用いた紫外発光素子において、

前記p型半導体は、

第1のタイミングにおいてTMGa、TMA1およびCp₂Mgの供給を開
始し、Cp₂Mgを所定時間供給した第2のタイミングにおいてCp₂Mgの供
給を終了する第1のステップと、

Cp₂Mgの供給を終了した第2のタイミングの直後あるいは後においてT
ESiの供給を開始し、TESiを所定時間供給した第3のタイミングにおいて
TMGa、TMA1およびTESiの供給を終了する第2のステップと、

TMGa、TMA1およびTESiの供給を終了した第3のタイミングの直
後あるいは後においてNH₃の供給を開始し、NH₃を所定時間供給した第4の

タイミングにおいてNH₃の供給を終了する第3のステップと
よりなるサイクルを、所定の回数繰り返して形成した
p型半導体を用いた紫外発光素子。

【請求項13】 請求項4、請求項5、請求項11または請求項12のいずれか1項に記載のp型半導体を用いた紫外発光素子において、

前記p型半導体の形成するときに、

少量のNを連続供給する

p型半導体を用いた紫外発光素子。

【請求項14】 p型半導体を用いた紫外発光素子において、

前記p型半導体は、

GaとAlとにより形成される結晶層とNにより形成される結晶層とを積層したAlGaNよりなり、

前記GaとAlとにより形成される結晶層にMgとSiとがドーピングされ、前記GaとAlとにより形成される結晶層内にMgとSiとが所定の比率で近接して配置されたものである

p型半導体を用いた紫外発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、p型半導体を用いた紫外発光素子に関し、さらに詳細には、紫外波長領域に発光のピークを有するp型半導体を用いた紫外発光素子に関する。

【0002】

【発明の背景ならびに従来の技術】

従来より、半導体材料の作成に際して、所定の結晶成長装置などにおいて、複数種類の結晶原料と複数種類の不純物原料とを用い、当該結晶原料と不純物原料とをいずれも連続的に供給して、結晶原料により基板上に形成される結晶層に不純物をドーピングする半導体の不純物ドーピング方法が知られている。

【0003】

ところで、この従来の半導体の不純物ドーピング方法においては、当該複数種

類の結晶原料と複数種類の不純物原料とはいずれも連続的に供給されるので、結晶原料により基板上に形成される結晶の原子層内には、複数種類の不純物が無秩序に取り込まれることになる。

【0004】

このため、当該複数種類の不純物原料がそれぞれ p 型不純物原料と n 型不純物原料とである場合には、当該 p 型不純物原料と n 型不純物原料とが互いに打ち消しあってしまい（補償効果）、キャリアー濃度は当該 p 型不純物原料と n 型不純物原料との濃度差となり、作成される半導体材料のキャリアー濃度が減少して伝導度が小さくなってしまうという問題点があった。

【0005】

また、従来の半導体の不純物ドーピング方法により、複数種類の結晶原料と複数種類の不純物原料とをいずれも連続的に供給して p 型半導体材料を作成すると、当該 p 型半導体材料の禁制帯中の不純物準位は深く活性化エネルギーが大きいために、高密度の正孔が得られず伝導度が小さくなってしまうという問題点があった。

【0006】

こうした問題点に鑑みて、p 型不純物原料と n 型不純物原料とを結晶層にドーピングする場合においても、キャリアー濃度が増加するようにして、伝導度の大きな半導体材料を作成することができるようとした半導体の不純物ドーピング方法とその装置や、高密度の正孔を有した伝導度の大きな p 型半導体材料を作成することができるようとした半導体の不純物ドーピング方法とその装置や、伝導度の大きな半導体材料が、本願発明者により提案されている（特許文献 1 参照）。

【0007】

【特許文献 1】

特開2002-75879号公報

ところで、近年においては、紫外波長領域での光学デバイスおよび電子デバイスを作成するために、伝導度の大きい高伝導度の p 型 AlGaN の開発が要求されている。

【0008】

特に、紫外波長領域で発光する発光ダイオード（L E D）やレーザーダイオード（L D）などのような紫外発光素子の作成には、A 1 の組成比の高い p 型 A 1 G a N の高伝導度の材料が不可欠であった。

【0009】

しかしながら、従来においては、ワイドバンドギャップ窒化物半導体の p 型化は困難であり、特に、A 1 の組成比が 20 % 以上などのような A 1 の組成比の高い A 1 G a N 、即ち、 $A 1_x G a_{1-x} N$ ($0.2 \leq x < 1$) で実用レベルの高伝導度の p 型半導体を作成することは極めて困難であった。

【0010】

このため、波長 330 nm 以下の深紫外波長では、高効率の L E D や高効率の L D などのような紫外発光素子の実現が困難であった。

【0011】

換言すれば、窒化物紫外 L E D や窒化物紫外 L D などの紫外発光素子の短波長化は、ワイドバンドギャップ A 1 G a N の p 型化が難しいことがボトルネックとなっていた。

【0012】

ここで、p 型 A 1 G a N のキャリア活性化率は 1 % 以下と低いため、高濃度の M g のドープが必要である。そのため、高濃度 M g ドープ化で高品質 A 1 G a N 結晶を得ることが、A 1 G a N を p 型化の重要なポイントになっていた。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は、上記したような発明の背景ならびに従来の技術の有する問題点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、高伝導度の p 型半導体により紫外領域に発光ピークを有して効率良く発光する p 型半導体を用いた紫外発光素子の提供しようとするものである。

【0014】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明のうち請求項 1 に記載の発明は、p 型半導

体を用いた紫外発光素子において、上記p型半導体は、複数種類の結晶原料を交互にパルス状に供給して結晶成長を行うときに、上記複数種類の結晶原料の全ての種類の供給が1回ずつ行われる1サイクル内において、所定の種類の結晶原料の供給開始と同時あるいは後であり、かつ、上記所定の種類以外の種類の結晶原料の供給開始より前において、p型不純物原料を供給して形成したものである。

【0015】

また、本発明のうち請求項2に記載の発明は、本発明のうち請求項1に記載の発明において、上記所定の種類の結晶原料はIII族元素であり、上記所定の種類以外の種類の結晶原料はV族元素であるようにしたものである。

【0016】

また、本発明のうち請求項3に記載の発明は、本発明のうち請求項1に記載の発明において、上記所定の種類の結晶原料はII族元素であり、上記所定の種類以外の種類の結晶原料はVI族元素であるようにしたものである。

【0017】

また、本発明のうち請求項4に記載の発明は、本発明のうち請求項2に記載の発明において、上記III族元素はAlとGaであり、上記V族元素はNであり、上記AlおよびGaの供給と上記Nの供給とを、交互にパルス状に行い、上記p型不純物原料はMgであるようにしたものである。

【0018】

また、本発明のうち請求項5に記載の発明は、p型半導体を用いた紫外発光素子において、上記p型半導体は、第1のタイミングにおいてTMGa、TMA1およびCp₂Mgの供給を開始し、TMGa、TMA1およびCp₂Mgを所定時間供給した第2のタイミングにおいてTMGa、TMA1およびCp₂Mgの供給を終了する第1のステップと、TMGa、TMA1およびCp₂Mgの供給を終了した第2のタイミングの直後あるいは後においてNH₃の供給を開始し、NH₃を所定時間供給した第3のタイミングにおいてNH₃の供給を終了する第3のステップとよりなるサイクルを、所定の回数繰り返して形成したものである。

【0019】

また、本発明のうち請求項6に記載の発明は、p型半導体を用いた紫外発光素子において、上記p型半導体は、複数種類の結晶原料を交互にパルス状に供給して結晶成長を行うときに、上記複数種類の結晶原料の全ての種類の供給が1回ずつ行われる1サイクル内において、所定の複数種類の結晶原料の供給開始と同時にあるいは後であり、かつ、上記所定の複数種類以外の種類の結晶原料の供給開始より前において、p型不純物原料とn型不純物原料とをそれぞれ近接したタイミングで供給して形成したものである。

【0020】

また、本発明のうち請求項7に記載の発明は、本発明のうち請求項6に記載の発明において、上記p型半導体は、上記所定の複数種類の結晶原料の供給開始に同期して上記p型不純物原料の供給を開始し、上記p型不純物原料の供給を終了した後に上記n型不純物原料の供給を開始して、上記所定の複数種類以外の種類の結晶原料の供給開始より前に上記n型不純物の供給を終了して形成したものである。

【0021】

また、本発明のうち請求項8に記載の発明は、本発明のうち請求項6に記載の発明において、上記p型半導体は、上記p型不純物原料と上記n型不純物原料とがそれぞれ同時に供給される期間を有するようにして形成されたものである。

【0022】

また、本発明のうち請求項9に記載の発明は、本発明のうち請求項6、請求項7または請求項8のいずれか1項に記載の発明において、上記所定の複数種類の結晶原料はIII族元素であり、上記所定の複数種類以外の種類の結晶原料はV族元素であるようにしたものである。

【0023】

また、本発明のうち請求項10に記載の発明は、本発明のうち請求項6、請求項7または請求項8のいずれか1項に記載の発明において、上記所定の複数種類の結晶原料はIII族元素であり、上記所定の複数種類以外の種類の結晶原料はVI族元素であるようにしたものである。

【0024】

また、本発明のうち請求項11に記載の発明は、本発明のうち請求項9に記載の発明において、上記III族元素はA1とGaであり、上記V族元素はNであり、上記A1およびGaの供給と上記Nの供給とを、交互にパルス状に行い、上記第1の不純物原料はMgであり、上記第2の不純物原料はSiであるようにしたものである。

【0025】

また、本発明のうち請求項12に記載の発明は、p型半導体を用いた紫外発光素子において、上記p型半導体は、第1のタイミングにおいてTMGa、TMA1およびCp₂Mgの供給を開始し、Cp₂Mgを所定時間供給した第2のタイミングにおいてCp₂Mgの供給を終了する第1のステップと、Cp₂Mgの供給を終了した第2のタイミングの直後あるいは後においてTESiの供給を開始し、TESiを所定時間供給した第3のタイミングにおいてTMGa、TMA1およびTESiの供給を終了する第2のステップと、TMGa、TMA1およびTESiの供給を終了した第3のタイミングの直後あるいは後においてNH₃の供給を開始し、NH₃を所定時間供給した第4のタイミングにおいてNH₃の供給を終了する第3のステップとよりなるサイクルを、所定の回数繰り返して形成したものである。

【0026】

また、本発明のうち請求項13に記載の発明は、本発明のうち請求項4、請求項5、請求項11または請求項12のいずれか1項に記載の発明において、上記p型半導体の形成するときに、少量のNを連続供給するようにしたものである。

【0027】

また、本発明のうち請求項14に記載の発明は、p型半導体を用いた紫外発光素子において、上記p型半導体は、GaとA1とにより形成される結晶層とNにより形成される結晶層とを積層したAlGaNによりなり、上記GaとA1とにより形成される結晶層にMgとSiとがドーピングされ、上記GaとA1とにより形成される結晶層内にMgとSiとが所定の比率で近接して配置されたものである。

【0028】

【発明の実施の形態】

以下、添付の図面を参照しながら、本発明によるp型半導体を用いた紫外発光素子の実施の形態の一例を詳細に説明するものとする。なお、以下の説明ならびに図面において、同一あるいは相当する構成や内容については、それぞれ同一の符号を用いて示すこととする。

【0029】

図1には、本発明によるp型半導体を用いた紫外発光素子の実施の形態の一例として、p型半導体としてMgをドープされたAlGaN（Alの組成53% : Al_{0.53}Ga_{0.47}N : Mg）を用いた紫外発光素子たるLEDが示されている。

【0030】

このLED1000は、減圧有機金属気相成長法（MOCVD法）により作成されたものであり、サファイア基板（Sapphire Substrate）1002の上にAlN低温バッファー層（LT-AlN buffer）1004を成膜し、AlN低温バッファー層1004の上にSiをドープしたn型のAlGaNバッファー層（Alの組成47% : n-Al_{0.47}Ga_{0.53}N : Si）1006を1.6μmの厚さで成膜し、Siをドープしたn型のAlGaNバッファー層1006の上に発光層としてInAlGaN4元混晶発光層（In_xAl_yGa_{1-x-y}N）1008を40nmの厚さで成膜し、InAlGaN4元混晶発光層1008の上にMgをドープしたp型のAlGaN層（Alの組成53% : Al_{0.53}Ga_{0.47}N : Mg）1010を300nmの厚さで成膜し、AlGaN層1010の上にMgをドープしたGaN（GaN : Mg）をキャップ層1012として30nmの厚さで成膜して形成されており、キャップ層1012にPd/Au（パラジウム/金）電極1014が形成され、AlGaNバッファー層1006にTi/Au（チタン/金）電極1016が形成されている。即ち、p型半導体であるキャップ層1012にPd/Au電極1014を形成し、n型半導体であるAlGaNバッファー層1006にTi/Au電極1016を形成して、LED構造が形成されている。

【0031】

このLED1000においては、InAlGaN4元混晶混晶発光層1008より下の層、即ち、AlGaNバッファー層1006、AlN低温バッファー層1004ならびにサファイア基板1002は、波長280nm以上の波長に対して透明であり、深紫外出力（深紫外波長領域の発光）はサファイア基板1002の裏側から得られる構造とされている（図1参照）。

【0032】

なお、このLED1000においては、MgをドープされたAlGaN層1010の正孔を活性化するために、結晶成長後にLED1000を窒素雰囲気1気圧中において850°Cの温度で1時間アニールした。

【0033】

また、このLED1000においては、深紫外において高輝度発光を得るために、発光層としてInAlGaN4元混晶混晶発光層1008をもちいているが、このInAlGaN4元混晶発光層1008については、図1において「LEDタイプI」および「LEDタイプII」として示すInとAlとGaとの組成が異なるものと「LEDタイプIII」として示すInAlGaN4元混晶発光層1008を設けないものの全部で3タイプを設定し、「LEDタイプI」、「LEDタイプII」ならびに「LEDタイプIII」をそれぞれ備えたLED1000に関して、後述する実験を行った。

【0034】

ここで、「LEDタイプI」は、InAlGaN4元混晶発光層1008のInとAlとGaとの組成を「 $In_x Al_y Ga_{1-x-y} N : x = 0.02, y = 0.44$ 」としたものであり、後述するように発光波長λが308nmで発光ピークが観察された。

【0035】

また、「LEDタイプII」は、InAlGaN4元混晶発光層1008のInとAlとGaとの組成を「 $In_x Al_y Ga_{1-x-y} N : x = 0.02, y = 0.40$ 」としたものであり、後述するように発光波長λが314nmで発光

ピークが観察された。

【0036】

さらに、「LEDタイプIII」は、InAlGaN4元混晶発光層1008を設けていないものである。

【0037】

ここで、このLED1000において、p型半導体としてMgをドープされたAlGaN層1010については、後述する結晶原料ならびにp型不純物原料を交互供給により結晶成長させて形成するという手法（以下、適宜に「交互供給法」と称する。）により作成し、その他のサファイア基板1002、AlN低温バッファー層1004、AlGaNバッファー層1006、InAlGaN4元混晶発光層1008ならびにキャップ層1012については、従来より公知の結晶原料ならびに不純物原料の連続供給により結晶成長させて作成したものであり、Pd/Au電極1014ならびにTi/Au電極1016についても、従来より公知の手法により形成したものである。

【0038】

なお、上記した実施の形態においては、p型半導体としてMgをドープされたAlGaN層1010を用いたが、これに限られるものではないことは勿論であり、MgをドープされたAlGaN層1010に代えて、交互供給法を用いて作成したInAlGaNやGaNなどの他の種々のp型半導体を用いることができる。

【0039】

次に、LED1000の製法に関して説明することとするが、上記したようにサファイア基板1002、AlN低温バッファー層1004、AlGaNバッファー層1006、InAlGaN4元混晶発光層1008、キャップ層1012、Pd/Au電極1014ならびにTi/Au電極1016については従来より公知の手法を用いて作成することができるのでその説明を省略するものとし、以

下においては、MgをドープされたAlGaN層1010を含むp型半導体を作成するための交互供給法について説明する。

【0040】

図2には、交互供給法を実施するための結晶成長装置の要部概略構成説明図が示されており、図3ならびに図5には、交互供給法により結晶原料と不純物原料とが供給されるタイミングの一例、即ち、原料供給パルスのシーケンスの一例を示すタイミング・チャートが示されており、図4ならびに図6には、交互供給法により形成されるp型半導体材料の結晶構造を模式的に示す説明図が示されている。

【0041】

なお、以下の説明において、結晶原料Aとしては、例えば、Al、Ga、In、B、Zn、CdなどのIIII族元素およびIIG族元素を用いることができ、結晶原料Bとしては、例えば、Al、Ga、In、B、Zn、CdなどのIIII族元素およびIIG族元素を用いることができ、結晶原料Cとしては、例えば、N、As、P、S、Se、TeなどのV族元素およびVI族元素を用いることができ、不純物原料Dとしては、例えば、Mg、Be、Si、Oなどを用いることができ、不純物原料Eとしては、例えば、Mg、Be、Si、Oなどを用いることができる。

【0042】

ただし、結晶原料Aと結晶原料Bと結晶原料Cとは、それぞれ互いに異なる元素を用いることとする。また、結晶原料A、結晶原料Bならびに結晶原料Cとしては、それぞれ1種類の元素に限られることなしに、2種類以上の元素を用いることができる。

【0043】

なお、結晶原料Aおよび結晶原料BとしてIIII族元素を用いた場合には、結晶原料CとしてV族元素を用いることが好ましく、また、結晶原料Aおよび結晶原料BとしてIIG族元素を用いた場合には、結晶原料CとしてVI族元素を用いることが好ましい。

【0044】

また、不純物原料Dと不純物原料Eとは、互いに異なる元素を用いることとし、いずれか一方をp型半導体を形成するためのp型不純物原料とし、いずれか他方をn型半導体を形成するためのn型不純物原料とする。

【0045】

まず、交互供給法の第1の手法（以下、適宜に「第1の手法」と称する。）の理解を容易にするためにその概要を説明すると、内部に基板が配設された結晶成長装置の反応管（例えば、石英ガラスにより構成される。）内に、管（例えば、石英ガラスにより構成される）などを介して結晶原料と1種類の不純物原料（p型不純物原料）とをそれぞれパルス状に所定のタイミングで供給し、当該供給した結晶原料と不純物原料とが反応管内において反応して、基板上に結晶構造を形成するようにしたものである（図2参照。なお、第1の手法のみを実施する場合には、不純物原料Eは供給しないので、図2に示す構成から不純物原料Eの供給に関する構成を削除してもよい。）。

【0046】

より詳細には、第1の手法により結晶原料A、結晶原料B、結晶原料Cならびに不純物原料D（p型不純物原料）を用いて結晶形成を行う際には、結晶原料A、結晶原料B、結晶原料Cならびに不純物原料Dはいずれも連続的に供給されることなく、所定時間だけ供給が行われ、当該所定時間以外は供給が停止されてパルス状に供給されるようにする。

【0047】

即ち、結晶原料Aおよび結晶原料Bは同時に供給されるが、結晶原料Cはこれら結晶原料Aおよび結晶原料Bとは同時には供給されない。また、不純物原料Dは、結晶原料Aおよび結晶原料Bの供給と同期してか、あるいは、結晶原料Aおよび結晶原料Bの供給開始より後であり、かつ、結晶原料Cの供給開始より前ににおいてパルス状に供給される。

【0048】

図3には、第1の手法の一例を示すタイミング・チャートが図示されているが

、このタイミング・チャートにおいては、タイミングT₁において結晶原料Aおよび結晶原料Bの供給を開始するとともに不純物原料Dの供給を開始する。

【0049】

そして、結晶原料Aおよび結晶原料Bを時間T_Aだけ供給するとともに、不純物原料Dを時間T_Aに等しい時間T_Cだけ供給して、タイミングT₂において結晶原料Aおよび結晶原料Bの供給を終了するとともに不純物原料Dの供給を終了する。

【0050】

それから、結晶原料A、結晶原料Bおよび不純物原料Dの供給を終了するタイミングT₂の直後において、結晶原料Cの供給を開始し、結晶原料Cを時間T_Bだけ供給して、タイミングT₃において結晶原料Cの供給を終了する。

【0051】

上記により1サイクルの処理を終了し、このタイミングT₃をタイミングT₁として次のサイクルを開始するものである。

【0052】

こうしたサイクルを所望の回数だけ繰り返すことにより、P型半導体材料として所望の膜厚の結晶を得ることができるものである。

【0053】

即ち、上記したようにして結晶原料A、結晶原料B、結晶原料Cならびに不純物原料Dの供給が全て1回ずつ行われる単位、即ち、タイミングT₁からタイミングT₃までを1サイクルとして、当該1サイクルを繰り返し行うことにより所望の厚さの結晶形成がなされるものである。

【0054】

従って、結晶原料Aおよび結晶原料Bの供給と結晶原料Cの供給とは、時間T_A、T_Bをおいて交互にパルス状に行われることになり、結晶原料Aおよび結晶原料Bの供給と結晶原料Cの供給とが同じタイミングで行われることはない。

【0055】

また、結晶原料Cの供給のタイミングに関しては、結晶原料Aと結晶原料Bとの供給が終了したタイミングT₂の直後に限られることなしに、タイミングT₂

の到来の後の所定の時間の経過後でもよい。

【0056】

さらに、不純物原料Dの供給のタイミングに関しては、結晶原料Aおよび結晶原料Bの供給が開始されたタイミングT₁と同期することに限られることなしに、結晶原料Aおよび結晶原料Bの供給が開始されたタイミングT₁より後でもよい。

【0057】

要は、不純物原料Dは、結晶原料Aおよび結晶原料Bの供給開始と同時あるいはその後であり、かつ、結晶原料Cの供給開始より前に供給されるものである。

【0058】

そして、図3に示すタイミングに従って形成される結晶構造は、図4に示すように、タイミングT₁からの所定時間T_Aの結晶原料Aおよび結晶原料Bの供給によって、基板100上に結晶原料Aおよび結晶原料Bからなる層502が形成される。

【0059】

この際に、不純物原料Dの供給により、結晶原料Aおよび結晶原料Bからなる層502内においては、不純物原料D、即ち、p型不純物原料がドーピングされることになる。

【0060】

それから、タイミングT₂からの時間T_Bの結晶原料Cの供給によって、不純物原料Dがドーピングされた結晶原料Aおよび結晶原料Bからなる層502上に、結晶原料Cからなる層504が積層される。

【0061】

さらに、上記した1サイクル(図3参照)が所望の回数繰り返されると、繰り返されたサイクルの回数に応じて、不純物原料Dがドーピングされた結晶原料Aおよび結晶原料Bからなる層502と結晶原料Cからなる層504との積層が繰り返され、所望の厚さWの結晶が形成されることになり、この結晶をp型半導体材料として用いることができる。

【0062】

次に、交互供給法の第2の手法（以下、適宜に「第2の手法」と称する。）の理解を容易にするためにその概要を説明すると、内部に基板が配設された結晶成長装置の反応管（例えば、石英ガラスにより構成される。）内に、管（例えば、石英ガラスにより構成される）などを介して結晶原料と不純物原料（p型不純物原料およびn型不純物原料）とをそれぞれパルス状に所定のタイミングで供給し、当該供給した結晶原料と不純物原料とが反応管内において反応して、基板上に結晶構造を形成するようにしたものである（図2参照）。

【0063】

より詳細には、第2の手法により結晶原料A、結晶原料B、結晶原料C、不純物原料D（例えば、p型不純物原料である。）ならびに不純物原料E（例えば、n型不純物原料である。）を用いて結晶形成を行う際には（図6参照）、結晶原料A、結晶原料B、結晶原料C、不純物原料Dならびに不純物原料Eはいずれも連続的に供給されることなく、所定時間だけ供給が行われ、当該所定時間以外は供給が停止されてパルス状に供給されるものである。

【0064】

ここで、結晶原料A、結晶原料B、結晶原料Cならびに不純物原料Dに関しては、第1の手法と同様なタイミングで供給が行われる。なお、図5には第2の手法の一例を示すタイミング・チャートが図示されているが、図5に示すタイミング・チャートの例においては、図3に示すタイミング・チャートの例とは異なり、不純物原料Dの供給に関して結晶原料Aおよび結晶原料Bの供給と完全に同期してはいない。即ち、不純物原料Dの供給開始のタイミングは、結晶原料Aおよび結晶原料Bの供給開始のタイミングと一致しているが、不純物原料Dを供給する時間 T_C が結晶原料Aおよび結晶原料Bを供給する時間 T_A よりも短く設定されているため、不純物原料Dの供給終了のタイミングは、結晶原料Aおよび結晶原料Bの供給終了のタイミングよりも早くなる。

【0065】

この第2の手法においては、不純物原料Eも不純物原料Dと同様に、結晶原料Aおよび結晶原料Bの供給と同期してか、あるいは、結晶原料Aおよび結晶原料

Bの供給開始より後であり、かつ、結晶原料Cの供給開始より前においてパルス状に供給され、不純物原料Dと不純物原料Eとは近接したタイミングで供給される。

【0066】

図5に示すタイミング・チャートに関して具体的に説明すると、タイミングT1において結晶原料A、結晶原料Bおよび不純物原料Dの供給を開始する。

【0067】

そして、結晶原料Aおよび結晶原料Bを時間 T_A 供給するとともに、不純物原料Dを時間 T_A よりも短い時間 T_C 供給して、タイミングT1'において不純物原料Dの供給を終了する。

【0068】

次に、不純物原料Dの供給を終了するタイミングT1'の直後において不純物原料Eの供給を開始し、不純物原料Eを所定時間 T_D 供給して、タイミングT2において結晶原料A、結晶原料Bおよび不純物原料Eの供給を終了する。

【0069】

それから、結晶原料A、結晶原料Bおよび不純物原料Eの供給を終了するタイミングT2の直後に結晶原料Cの供給を開始し、結晶原料Cを時間 T_B 供給して、タイミングT3において結晶原料Cの供給を終了する。

【0070】

上記により1サイクルの処理を終了し、このタイミングT3をタイミングT1として次のサイクルを開始するものである。

【0071】

即ち、上記したようにして結晶原料A、結晶原料B、結晶原料C、不純物原料Dならびに不純物原料Eの供給が全て1回ずつ行われる単位、即ち、タイミングT1からタイミングT3までを1サイクルとして、当該1サイクルを繰り返し行うことにより所望の厚さの結晶形成がなされるものである。

【0072】

なお、不純物原料Eの供給開始のタイミングに関しては、不純物原料Dの供給が終了したタイミングT1'の直後に限られることなしに、不純物原料Dの供給

が開始されたタイミングT1でもよい。

【0073】

つまり、不純物原料Dの供給を開始するタイミング（図5におけるタイミングT1参照）と、不純物原料Eの供給を開始するタイミング（図5におけるタイミングT1' 参照）との間の時間 T_{c_d} は、0以上時間 T_c 以内とすることができるものであり、不純物原料Dと不純物原料Eとが同時に供給される期間が生じるようにしてよい。

【0074】

さらに、不純物原料Dの供給のタイミングに関しては、結晶原料Aおよび結晶原料Bの供給が開始されたタイミングT1と同期することに限られることなしに、結晶原料Aおよび結晶原料Bの供給が開始されたタイミングT1より後でもよい。

【0075】

要は、不純物原料Dと不純物原料Eとは、結晶原料Aおよび結晶原料Bの供給開始と同時あるいはその後であり、かつ、結晶原料Cの供給開始より前において近接したタイミングで供給されるものである。

【0076】

そして、図5に示すタイミングに従って形成される結晶構造は、図6に示すように、タイミングT1からの時間 T_A の結晶原料Aおよび結晶原料Bの供給によって、基板100上に結晶原料Aおよび結晶原料Bからなる層702が形成される。

【0077】

この際に、不純物原料Dと不純物原料Eとの供給により、結晶原料Aおよび結晶原料Bからなる層702内においては、不純物原料Dと不純物原料Eとがドーピングされて、不純物原料Dと不純物原料Eとによる一種の不純物対（D-E）が形成されるものと考えられる。

【0078】

それから、タイミングT2からの時間 T_B の結晶原料Cの供給によって、不純物原料Dと不純物原料Eとがドーピングされた結晶原料Aおよび結晶原料Bから

なる層702上に、結晶原料Cからなる層704が積層される。

【0079】

さらに、上記した1サイクル（図5参照）が所望の回数繰り返されると、繰り返されたサイクルの回数に応じて、不純物原料Dと不純物原料Eとがドーピングされた結晶原料Aおよび結晶原料Bからなる層702と結晶原料Cからなる層704との積層が繰り返され、所望の厚さWの結晶が形成されることになり、この結晶をP型半導体材料として用いることができる。

【0080】

なお、上記した第1の手法ならびに第2の手法において、結晶原料Aとしてガリウム（Ga）を用い、結晶原料Bとしてアルミニウム（Al）を用い、結晶原料Cとして窒素（N）を用い、不純物原料Dとしてマグネシウム（Mg）を用い、不純物原料Eとしてシリコン（Si）を用いて、基板上にAlGaN結晶の層を形成する場合には、結晶原料CとしてのNの供給の停止中におけるAlGaN表面からのNの脱離を抑制するために、結晶品質を低下させない程度の少量のNを連続供給することが好ましい。

【0081】

次に、図7乃至図13を参照しながら、上記した第1の手法ならびに第2の手法により、基板上にp型半導体結晶（p型半導体材料）としてAlGaN結晶の層を形成する場合について説明することとする。

【0082】

図7には、上記した第1の手法ならびに第2の手法によってp型半導体材料としてAlGaN結晶の層を形成するための装置として用いることのできる、有機金属気相成長（MOCVD：Metal organic Chemical Vapour Deposition）装置の概略構成説明図が示されている。

【0083】

また、図8には、図7の要部概略構成説明図が示されており、図9には、図7に示す反応管の概略構成説明図が示されており、図10には、第1の手法により

半導体材料として p 型の A 1 G a N 結晶を形成する際に結晶原料と不純物原料とを供給するタイミングの一例、即ち、 p 型 A 1 G a N を形成する際の原料供給パルスのシーケンスの一例を示すタイミング・チャートが示されており、図 1 1 には、第 1 の手法によって図 1 0 に示す A 1 G a N を形成する際の原料供給パルスのシーケンスにより形成される p 型 A 1 G a N の結晶構造を模式的に示す説明図が示されており、図 1 2 には、第 2 の手法により半導体材料として p 型の A 1 G a N 結晶を形成する際に結晶原料と不純物原料とを供給するタイミングの一例、即ち、 p 型 A 1 G a N を形成する際の原料供給パルスのシーケンスの一例を示すタイミング・チャートが示されており、図 1 3 には、第 2 の手法によって図 1 2 に示す A 1 G a N を形成する際の原料供給パルスのシーケンスにより形成される p 型 A 1 G a N の結晶構造を模式的に示す説明図が示されている。

【0084】

なお、以下の説明においては、第 1 の手法により半導体材料として p 型 A 1 G a N を結晶成長させる際には、結晶原料たるガリウム (G a) の原料ガスとしてトリメチルガリウム (T M G a) を用い、結晶原料たるアルミニウム (A 1) の原料ガスとしてトリメチルアルミニウム (T M A 1) を用い、結晶原料たる窒素 (N) の原料ガスとしてアンモニア (N H₃) を用い、ドーピング用の不純物材料 (p 型不純物原料) たるマグネシウム (M g) の原料ガスとしてビスクロペンタジエニルマグネシウム (C₂P₂M g) を用いるものとする。

【0085】

即ち、 p 型 A 1 G a N の不純物としてのマグネシウム (M g) 原料には、ビスクロペンタジエニルマグネシウム (C₂P₂M g) を用いるものとする。

【0086】

さらに、第 2 の手法により半導体材料として p 型 A 1 G a N 結晶を形成する際には、上記した第 1 の手法において用いた結晶原料ならびに不純物原料に加えて、ドーピング用の不純物材料 (n 型不純物原料) たるシリコン (S i) の原料ガスとして、テトラエチルシラン (T E S i) を用いるものとする。

【0087】

即ち、n型AlGaNの不純物としてのシリコン(Si)原料には、テトラエチルシラン(TESi)を用いるものとする。

【0088】

まず、図7に示すMOCVD装置(AlGaN結晶成長用MOCVD装置)10の概要を説明すると、MOCVD装置10は、内部に基板200が配設される横型の反応管12と、トリメチルガリウム(TMGa)を貯留するバブラー14と、トリメチルアルミニウム(TMA1)を貯留するバブラー15と、アンモニア(NH₃)ガスを貯留するNH₃ボンベ16-1、16-2と、ビスマクロペンタジエニルマグネシウム(Cp₂Mg)を貯留するバブラー18と、テトラエチルシラン(TESi)を貯留するバブラー20と、キャリアーガスたる水素(H₂)ガスを貯留するH₂ボンベ22と、キャリアーガスたる窒素(N₂)ガスを貯留するN₂ボンベ24と、各種の制御(例えば、後述する各種のガスバルブや減圧弁の開閉の制御、反応管12内に流入される各種のガスの流量を所定の値に設定するための後述する各種のマスフローコントローラーの制御、後述する基板加熱用高周波コイル32への高周波電流の通電の制御による基板200の温度の制御などである。)を行う制御装置26と、反応管12内の排気を行う排気装置としてのロータリーポンプ28と、ロータリーポンプ28による排気を処理する排ガス処理装置30とを有している。

【0089】

ここで、反応管12の外周部位には、基板加熱用高周波コイル32が巻回されている。また、反応管12内部には、基板200を支持するカーボンサセプター34が配設されるとともに、当該カーボンサセプター34に取り付けられる熱電対36が配設されている。

【0090】

即ち、このMOCVD装置10においては、基板加熱用高周波コイル32に高周波電流を通電することによりカーボンサセプター34を加熱し、これにより当該カーボンサセプター34上に配設された基板200を所定の温度に加熱するものである。

【0091】

そして、熱電対36によりカーボンサセプター34の温度をモニターして、このモニターに基づいて、制御装置26により基板加熱用高周波コイル32に通電する高周波電流を制御し、基板200が所定の温度に加熱されるように基板200の温度の制御を行うものである。

【0092】

さらに、反応管12には、当該反応管12内にNH₃ボンベ16-1, 16-2からNH₃ガスを供給するための石英管40と、H₂ボンベ22からキャリアーガスとしてH₂ガスを供給するための石英管42と、N₂ボンベ24からキャリアーガスとしてN₂ガスを供給するための石英管43とが配設されている。

【0093】

そして、NH₃ボンベ16-1, 16-2に貯留されているNH₃ガスは、ガスバルブ57, 59, 60, 61がそれぞれ開放されると、それぞれマスフローコントローラー(MFC)50, 51によって所定の値に設定されたガス流量で、H₂ガスとともに石英管40を介して反応管12内に供給されるようになされている。

【0094】

また、H₂ボンベ22に貯留されているH₂ガスは、ガスバルブ80ならびに減圧弁81を介して水素純化装置70から送出されて、MFC54, 75, 55, 56によって所定の値の設定されたガス流量で、ガスバルブ67, 77, 68, 69が開放されると、バブラー14, 15, 18, 20へ供給されるようになされている。

【0095】

ここで、バブラー14, 15, 18, 20にはそれぞれ恒温槽72, 73, 74, 76が配設されており、当該バブラー14, 15, 18, 20に貯留されて所定の温度にそれぞれ維持されたTMGa、TMA1、Cp₂Mg、TESiは、ガスバルブ64, 65, 66, 91, 92が開放されるとともにガスバルブ62が開放されると、MFC52によって所定の値に設定されたガス流量のH₂キャリアーガスとともに、石英管42を介して反応管12内にそれぞれ供給される

ようになされている。

【0096】

一方、N₂ボンベ24に貯留されているN₂ガスは、ガスバルブ63が開放されると、MFC53によって所定の値に設定されたガス流量で、石英管43を介して反応管12内に供給されるようになされている。

【0097】

なお、MFC50, 51, 52, 53, 54, 75, 55, 56によるガス流量の制御や、ガスバルブ57, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 77, 68, 69, 80, 91, 92ならびに減圧弁81の開閉の制御は、制御装置26により行われるものである。

【0098】

以上の構成において、MOCVD装置10において、第1の手法ならびに第2の手法によりAlGaN結晶を形成するためには、反応管12内の圧力（内圧）を76 Torr (0.1気圧)に減圧し、流量5s1mの水素と流量2s1mの窒素とを混合した混合ガスをキャリアーガスとして用いて、このキャリアーガスによって上記した各原料の原料ガスを反応管12に導入し、基板200上で結晶成長を行うものである。

【0099】

なお、基板200としては、サファイア基板(0001)面を使用することとし、以下、サファイア基板(Sapphire substrate)200として説明する。

【0100】

以下、第1の手法ならびに第2の手法について、それぞれ詳細に説明する。

【0101】

まず、第1の手法について説明すると、結晶成長前にカーボンサセプター34上に配設されるサファイア基板200をクリーニングするために、サファイア基板200を水素ガス中において1200°Cで10分間加熱して、サファイア基板

200の表面の酸化膜を除去するなどのクリーニングを行う。

【0102】

次に、カーボンサセプター34上に配設されるサファイア基板200には、公知の技術により、600°CでAlN低温バッファー層(LT-AlN buffer)202を3分間堆積させたのち、1130°Cに昇温し、公知の技術による結晶原料の連續供給によって不純物原料であるマグネシウムならびにシリコンがドープされていないノンドープのAlGaNバッファー層(AlGaN buffer)204を成長させることとする(図11参照)。

【0103】

こうして形成したAlGaNバッファー層204上に、第1の手法により結晶原料ならびに不純物原料を交互供給してp型AlGaNの結晶成長を行った(図11参照)。

【0104】

具体的には、反応管12内の圧力(内圧)を76Torr(0.1気圧)に減圧し、カーボンサセプター34上に配設されたサファイア基板200の温度を1100°Cに加熱する。

【0105】

また、制御装置26によりMFC50, 51, 52, 53を制御し、NH₃ボンベ16-1から供給されるNH₃ガスの流量を1リッター/分(L/min)に制御し、NH₃ボンベ16-2から供給されるNH₃ガスの流量を50cc/分(cc/min)に制御し、H₂ボンベ22から供給されるH₂ガスの流量を2~5リッター/分に制御し、N₂ボンベ24から供給されるN₂ガスの流量を1~3リッター/分に制御する。

【0106】

即ち、反応管12内におけるサファイア基板200上での原料ガス(結晶原料としてGaを供給するTMGaガス、結晶原料としてAlを供給するTMA1ガス、結晶原料としてNを供給するNH₃ガスならびに不純物原料としてMgを供給するCP₂Mgガス)の切り換え時間を0.1秒以下とするために、反応管12内の内圧を0.1気圧に減圧しており、また、各種の原料ガスの流速は数m/

秒とすることが好ましい。

【0107】

なお、高温下においてNH₃ボンベ16-1からのNH₃ガスの供給を停止している間に、形成されたAlGAN結晶から窒素原子が再蒸発し、形成された結晶の品質の低下を防ぐために、NH₃ボンベ16-2から少流量(50cc/分)のNH₃ガスを連続的に供給するものとする。

【0108】

なお、第1の手法によりAlGAN結晶を形成する際には、ガスバルブ66, 69は閉鎖して、反応室12へのTESiの供給を停止するが、ガスバルブ65, 68は開放して、反応室12へのCp₂Mgの供給を許容する。Cp₂Mgの流量は、MFC55により 3.2×10^{-8} モル/分(mol/min)に制御する。

【0109】

そして、図10に示すようにして、TMGaおよびTMA1の供給とNH₃の供給とを2秒(sec)間ずつ交互に行い、AlGAN結晶の形成を行う。なお、制御装置26によりMFC58, 77を制御し、バブラー18から供給されるTMGaの流量を 1×10^{-5} モル/分(mol/min)に制御し、バブラー15から供給されるTMA1の流量を 1×10^{-6} モル/分(mol/min)に制御する。即ち、TMGaおよびTMA1の供給とNH₃の供給とを2秒間ずつ交互に行い、AlGAN結晶の形成を行う。この際に、p型不純物原料のCp₂MgをTMGaおよびTMA1と同じ時間に供給する。

【0110】

より詳細には、まず、タイミングT1においてTMGa、TMA1およびCp₂Mgの供給を開始する。

【0111】

そして、TMGaおよびTMA1を2秒間(時間T_A)供給するとともに、Cp₂Mgを時間T_Aに等しい2秒間(時間T_C)供給して、タイミングT2においてTMGa、TMA1およびCp₂Mgの供給を終了する。

【0112】

それから、タイミングT2の直後にNH₃の供給を開始し、NH₃を2秒間（時間T_B）供給して、タイミングT3においてNH₃の供給を終了する。

【0113】

上記により1サイクルの処理を終了し、このタイミングT3をタイミングT1として次のサイクルを開始するものである。

【0114】

こうしたサイクルを所望の回数だけ繰り返すことにより、半導体材料として所望の膜厚のAlGaN結晶を得ることができるものである。

【0115】

そして、図10に示すタイミングに従って形成されるAlGaN結晶の構造は、図11に示すように、タイミングT1からの2秒間（時間T_A）のTMGaおよびTMA1の供給によって、サファイア基板200に形成されたAlGaNバッファー層204上にGaおよびAlからなる層1406が形成される。

【0116】

この際に、p型不純物原料たるCp₂MgのMgの供給により、GaおよびAlからなる層1406内においては、p型不純物原料たるMgがドープされる。

【0117】

それから、タイミングT2からの（時間T_B）のNH₃の供給によって、MgがドープされたGaおよびAlからなる層1406上に、Nからなる層1408が積層される。

【0118】

そして、上記したようにしてTMGa、TMA1、NH₃ならびにCp₂Mgの供給が行われる1サイクル（図10参照）は4秒間になり、当該1サイクルが所望の回数繰り返されると、繰り返されたサイクルの回数に応じて、MgがドープされたGaおよびAlからなる層1406とNからなる層1408との積層が繰り返され、所望の厚さWのAlGaN結晶の形成がなされることになり、このAlGaN結晶を半導体材料として用いることができる。

【0119】

図14には、図7乃至図10に示す装置構成ならびに条件（第1の手法）によ

り本願発明者が作成したp型AlGaN結晶の評価結果が示されている。

【0120】

即ち、図14は、MgをドープしたAlGaNの正孔濃度を20°C~400°Cの温度範囲で示したものである。

【0121】

ここで、図14の(1)は第1の手法による原料の交互供給により結晶成長させた場合の正孔濃度の温度依存性を示したものであり、図14の(2)は従来の技術による原料の連続供給で結晶成長させた場合の正孔濃度の温度依存性を示したものである。

【0122】

室温近傍での正孔濃度については、第1の手法による原料の交互供給により結晶成長させたAlGaNの正孔濃度は $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、従来の技術による原料の連続供給で結晶成長させたAlGaNの正孔濃度である $2.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ と比較して約16倍大きい。

【0123】

また、室温近傍での正孔移動度を比較した場合には、第1の手法による原料の交互供給により結晶成長させたAlGaNでの正孔移動度は $1.5 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ であり、従来の技術による原料の連続供給で結晶成長させたAlGaNの正孔移動度である $0.5 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ と比較して3倍大きい。

【0124】

従って、正孔濃度と正孔移動度との積である電気伝導度については、第1の手法による原料の交互供給により結晶成長させたAlGaNは、従来の技術による原料の連続供給で結晶成長させたAlGaNと比較すると約48倍も大きい。

【0125】

また、図14に示す正孔濃度の温度変化からMgアクセプターの活性化エネルギーが求められ、第1の手法による原料の交互供給により結晶成長させたAlGaNの活性化エネルギーを求める75meVであった。

【0126】

一方、従来の技術による原料の連続供給で結晶成長させたAlGaNに関して

は、Mgの活性化エネルギーは410meVと求められ、この410meVは従来より知られた値とほぼ一致する。

【0127】

A1GaN中のMgをSIMS分析で測定した結果、第1の手法による原料の交互供給により結晶成長させたA1GaNではMg密度は約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、従来の技術による原料の連続供給で結晶成長させたA1GaNと比較して1桁程度Mg密度は小さい。しかしながら、Mgの活性化エネルギーが小さいため、導入されたMgの大部分が活性化され、高い正孔濃度が得られる。

【0128】

なお、GaNにMgをドープする場合にはNH₃を連続供給し、TMGおよびCP₂Mgをパルス的に供給してMgのドーピングが可能であったが、A1GaNにMgをドープする場合には、NH₃の供給停止中でCP₂Mgを供給するという第2の手法による原料の交互供給が有効である。

【0129】

次に、第2の手法について説明するが、第2の手法によりA1GaN結晶を形成する際には、ガスバルブ65, 66, 68、69を開放して、反応室12へのCP₂MgならびにTESiの供給を許容する。CP₂Mgの流量は、MFC55により 3.2×10^{-8} モル/分(mol/min)に制御し、TESiの流量は、MFC56により 7×10^{-9} モル/分(mol/min)に制御する。

【0130】

この第2の手法においても、第1の手法と同様にTMGaおよびTMA1の供給とNH₃の供給とを交互に行うものであるが、具体的には、図12に示すようにして、3秒間のTMGaおよびTMA1の供給と2秒間のNH₃の供給とを交互に行い、A1GaN結晶の形成を行う。この際に、p型不純物原料のCP₂MgをTMGaおよびTMA1と同じ時間に供給開始して2秒間だけ供給し、n型不純物原料のTESiはCP₂Mgの供給後に1秒間だけ供給する。

【0131】

より詳細には、まず、タイミングT1においてTMGa、TMA1およびCP

$C_p_2 Mg$ の供給を開始する。

【0132】

そして、TMGa および TMA1 を 3 秒間（時間 T_A ）供給するとともに、 $C_p_2 Mg$ を時間 T_A より短い 2 秒間（時間 T_C ）供給する。そして、タイミング T_1' において $C_p_2 Mg$ の供給を終了する。

【0133】

それから、 $C_p_2 Mg$ の供給を終了するタイミング T_1' の直後に TESi の供給を開始し、TESi を 1 秒間（時間 t_D ）供給して、タイミング T_2 において TESi の供給ならびに TMGa および TMA1 の供給を終了する。

【0134】

また、タイミング T_2 の直後に NH_3 の供給を開始し、 NH_3 を 2 秒間（時間 t_B ）供給して、タイミング T_3 において NH_3 の供給を終了する。

【0135】

上記により 1 サイクルの処理を終了し、このタイミング T_3 をタイミング T_1 として次のサイクルを開始するものである。

【0136】

こうしたサイクルを所望の回数だけ繰り返すことにより、半導体材料として所望の膜厚の AlGaN 結晶を得ることができるものである。

【0137】

そして、図 12 に示すタイミングに従って形成される AlGaN 結晶の構造は、図 13 に示すように、タイミング T_1 からの 2 秒間（所定時間 t_A ）の TMGa および TMA1 の供給によって、サファイア基板 200 に形成された AlGaN バッファー層 206 上に Ga および Al からなる層 1606 が形成される。

【0138】

この際に、p 型不純物原料たる $C_p_2 Mg$ の Mg と n 型不純物原料たる TESi の Si との供給により、Ga および Al からなる層 1606 内においては Mg と Si とがドーピングされて、p 型不純物原料たる Mg と n 型不純物原料たる Si とによる一種の不純物対（Mg - Si）が形成される。

【0139】

それから、タイミングT2からの（時間 t_B ）のNH₃の供給によって、MgとSiとがドーピングされたGaおよびAlからなる層1606上に、Nからなる層1608が積層される。

【0140】

そして、上記したようにしてTMGa、TMA_L、NH₃、Cp₂MgならびにTESiの供給が行われる1サイクル（図12参照）は5秒間になり、当該1サイクルが所望の回数繰り返されると、繰り返されたサイクルの回数に応じて、MgとSiとがドーピングされたGaおよびAlからなる層1606とNからなる層1608との積層が繰り返され、所望の厚さWのAlGAN結晶の形成がなされることになり、このAlGAN結晶を半導体材料として用いることができる。

【0141】

より詳細には、上記したようにして結晶原料たるGaの原料ガスTMGaおよび結晶原料たるAlの原料ガストマ_Lの供給開始と同時あるいは後で、かつ、結晶原料たるNの原料ガスNH₃の供給開始より前に、p型不純物原料たるMgの原料ガスCp₂Mgとn型不純物原料たるSiの原料ガストESiとを近接したタイミングでパスル状に供給すると、MgとSiとがドーピングされたGaおよびAlからなる層1606内には、MgとSiとが無秩序に取り込まれることなしに、適当な比率でドーピングされることになる。

【0142】

このため、MgとSiとがドーピングされたGaおよびAlからなる層1606内におけるMgとSiとの位置が制御されて、MgとSiとがドーピングされたGaおよびAlからなる層1606内にMgとSiとが所定の比率で近接して配置されてMgとSiとが一種の不純物対を形成するようになり、不純物のエネルギー準位、即ち、活性化エネルギーが減少することになる。

【0143】

その結果としてAlGAN結晶においてはキャリアー濃度が増加し、伝導度が大きな半導体材料を得ることができる。

【0144】

図15乃至図16には、図7乃至図9ならびに図12に示す装置構成ならびに条件（第2の手法）により本願発明者が作成したAlGaN結晶の評価結果が示されている。

【0145】

即ち、図15は、MgとSiとをドープしたp型AlGaNの正孔濃度を20°C～400°Cの温度範囲で示したものである。

【0146】

ここで、図15の(1)は第2の手法による原料の交互供給により結晶成長させた場合の正孔濃度の温度依存性を示したものであり、この温度変化からアクセプターの活性化エネルギーは50meVと求められた。

【0147】

一方、図15の(2)は従来の技術による原料の連続供給で結晶成長させたMgドープのAlGaNの正孔濃度の温度依存性を示したものであり、この温度変化からMgアクセプターの活性化エネルギーは410meVと求められた。

【0148】

このように、第2の手法によりMgとSiとを同時にドープしたAlGaNのアクセプターの活性化エネルギーは、従来の技術による原料の連続供給により作成したMgドープのAlGaNのアクセプターの活性化エネルギーと比較して極めて小さい。即ち、第2の手法によりMgとSiとを同時にドープしたAlGaNにおいては、Mgのみをドープした場合と比較しても活性化エネルギーは小さくなつた。

【0149】

また、図16は、 $C_{P_2} Mg$ の供給量を 3.2×10^{-8} モル/分(mol/min)と一定にし、TESiの供給量を変化させた場合のAlGaNの室温でのキャリアー密度を示したものである。TESiの供給量が0であつてMgのみを含むp型AlGaNの正孔濃度は $4.2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、移動度は $2.4 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ であった。TESiを供給することによって正孔濃度は少し減少するが、さらにTESi供給量を増加させると正孔濃度は増加し、 $6.3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の最大値を持ち、移動度は $1.0 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ を

示した。

【0150】

ここで、T E S i 供給量をさらに増加させると、p型A1GaNの正孔濃度は減少した。即ち、 8×10^{-9} モル／分(mol/min)以上のT E S i 供給量では、黒丸で示したようにn型A1GaNに変化し、電子密度は 8×10^{17} cm⁻³であり、移動度は $31\text{ cm}^2\text{ V}^{-1}\text{ s}^{-1}$ であった。T E S i 供給量が 9×10^{-9} モル／分(mol/min)では、電子密度は 6.7×10^{18} cm⁻³であり、移動度は $1.5\text{ cm}^2\text{ V}^{-1}\text{ s}^{-1}$ であった。

【0151】

S i ドープのみのn型A1GaNの電子密度は 4.2×10^{18} cm⁻³であり、移動度は $9.7\text{ cm}^2\text{ V}^{-1}\text{ s}^{-1}$ であったことから、MgとS iとの混在するn型A1GaNでは移動度の低下が見られた。

【0152】

このようにMgに加えてS i を同時ドーピングすることによって、T E S i 供給量の狭い範囲で正孔濃度の増加が見られた。

【0153】

上記したように、第1の手法ならびに第2の手法においては、上記したようにして伝導度の大きな半導体結晶(半導体材料)、特に、高密度の正孔を有した伝導度の大きなp型半導体材料を作成できるので、高効率なp n接合を実現することが可能となり、半導体デバイスの特性の向上、例えば、p n接合の注入効率の増加や、電極の接触抵抗の減少、直列抵抗の減少などに寄与することができる。

【0154】

また、第1の手法ならびに第2の手法においては、禁制帯中の不純物準位が深く活性化エネルギーが大きいp型半導体材料であっても、活性化エネルギーの減少が図られて、高密度の正孔を有した伝導度の大きなp型半導体材料を作成することができる。

【0155】

さらに、第2の手法においては、複数種類の結晶原料を交互にパルス状に供給

するときに、一方の結晶原料の供給開始と同時あるいはその後で、かつ、他方の結晶原料の供給開始より前において、複数種類の不純物原料それぞれを近接したタイミングでパルス状に供給するようにしたので、結晶原料により基板上に形成される結晶の原子層内に複数種類の不純物が無秩序に取り込まれるなく適当な比率でドーピングされ、p型不純物原料とn型不純物原料とを用いた場合においても、キャリアー濃度が増加されて、伝導度の大きな半導体材料を作成することができるようになる。

【0156】

さらにまた、第2の手法においては、複数種類の不純物原料を連続的に供給することなしに近接したタイミングでパルス状に供給するようにしたので、それぞれの不純物原料が結晶原料により基板上に形成される結晶の原子層内に取り込まれる量を制御することができるようになり、適当な比率で不純物が原子層内にドーピングされてキャリアー濃度の増加した半導体材料を得ることができるようになる。

【0157】

このため、第2の手法によれば、2種類の不純物を適当な比率で供給することにより不純物準位を変化させ活性化率の増加を招来するという理論の実現を図ることができる。

【0158】

次に、上記した第1の手法ならびに第2の手法のうちで、第2の手法により作成したMgをドープしたp型のAlGaN層1010を備えたLEDについての本願発明者による評価実験の結果を説明する。なお、LED1000としては、上記したように、LEDタイプI、LEDタイプIIおよびLEDタイプIIIの3種類作成した。

【0159】

そして、作成したLEDタイプIならびにLEDタイプIIのLED1000に対して室温においてパルス電流注入を行なった結果、シングルピーク発光し、LEDタイプI（波長308nm）では130mA電流注入時に0.4mWの出

力が得られ（図17参照）、LEDタイプII（波長314nm）では260mA電流注入時に0.8mWの出力が得られた。

【0160】

また、LEDタイプIIIのLED1000に対しては、室温連続電流注入により波長282nmの発光ピークが観測された。

【0161】

即ち、上記した交互供給法によりAlの組成が30~60%の領域の $Al_xG_{a1-x}N$ ($0.3 \leq x \leq 0.6$) でもp型化が可能になり、これまで実現不可能であった波長200~380nm帯のLEDやLDなどの紫外発光素子を実現することができた。

【0162】

ここで、交互供給法により作成するp型半導体としては、上記したAlGaNのみに限られるものではなく、AlNやGaNやInGaNやInAlGaNなどを作成することができる。

【0163】

その組成は、例えば、p型AlGaNの場合には、Alの組成範囲は0~100%（ただし、AlとGaとの合計を100%とする。）、即ち、GaNからAlNに至るすべての組成をとることができる。

【0164】

また、p型InAlGaNの場合には、「In: 0~30%、Al: 0~100%、InとAlとGaとの合計を100%とする。」という組成をとることができる。

【0165】

さらに、p型半導体とのp型不純物としてMgを用いた場合には、p型半導体のMg濃度の範囲は、例えば、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0166】

さらにまた、上記したLED100においては、発光層としてInAlGaN4元混晶発光層 ($In_xAl_yG_{a1-x-y}N$) 1008を用いたが、発光層

の組成はこれに限られるものではなく、例えば、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$)、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) あるいは $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x < 1$, $0 < y < 1$, $x + y = 1$) などを用いることができ、また、その構造としてはバルク構造や量子井戸構造を適宜用いることができる。

【0167】

なお、上記した実施の形態は、以下の（1）乃至（4）に説明するように変形することができる。

【0168】

（1）上記した実施の形態においては、p型 AlGaN 結晶を形成する場合について説明したが、上記したようにこれに限られるものではないことは勿論であり、上記したMOCVD装置10、あるいは、他の結晶成長装置を用いて、第1の手法あるいは第3の手法により InGaN 結晶や InAlGaN 結晶あるいは GaN 結晶などの各種結晶を形成して半導体材料を作成するようにしてもよい。

【0169】

この際に、例えば、 InGaN 結晶を形成する場合には、バブラー15に貯留されたTMA1に代えてTMInを用いればよく、また、 InAlGaN 結晶を形成する場合には、バブラー15と同様なTMInを貯留したバブラーを増設すればよく、また、 GaN 結晶を形成する場合には、Alの供給を停止すればよいなどのように、適宜に各種条件の変更を行えばよい。

【0170】

（2）上記した実施の形態においては、結晶原料AとしてGaを用い、結晶原料BとしてAlを用い、結晶原料CとしてNを用い、不純物原料DとしてMgを用い、不純物原料EとしてSiを用いるようにした場合について説明したが、これに限られるものではないことは、上記した通りである。

【0171】

例えば、結晶原料Aとしては、Gaの他に、Al、In、B、Zn、CdなどのII族元素およびI族元素を用いることができ、結晶原料Bとしては、Alの他に、Ga、In、B、Zn、CdなどのII族元素およびI族元素を

用いることができ、結晶原料Cとしては、Nの他に、As、P、S、Se、TeなどのV族元素およびVI族元素を用いることができ、不純物原料Dとしては、Mgの他にBeを用いることができ、不純物原料Eとしては、Siの他にOを用いることができる。

【0172】

さらにまた、結晶原料A、結晶原料Bならびに結晶原料Cについてはそれぞれ、1種類の材料に限られることなしに、2種類以上の物質を用いることができ、例えば、結晶原料A、結晶原料A'、結晶原料B、結晶原料B'、結晶原料Cならびに結晶原料C'からなる混晶を形成する場合においても、適宜に変更を行うことにより本発明により半導体結晶を作成することができる。

【0173】

なお、結晶原料AとしてIII族元素を用いた場合には、結晶原料BとしてII族元素を用いるとともに、結晶原料CとしてV族元素を用い、また、結晶原料AとしてII族元素を用いた場合には、結晶原料BとしてIII族元素を用いるとともに、結晶原料CとしてVI族元素を用いることが好ましい。

【0174】

(3) 上記した実施の形態においては、p型不純物原料D(Cp_2Mg)の供給が終了したタイミングT1'の直後に、n型不純物原料E(TESi)の供給が開始されるようにしたが、これに限られるものではないことは勿論であり、p型不純物原料D(Cp_2Mg)の供給が終了した後に、所定のページ時間を介してn型不純物原料E(TESi)の供給が開始されるようにしてもよい。

【0175】

また、n型不純物原料E(TESi)の供給が終了したタイミングT2の直後に、結晶原料C(NH_3)の供給が開始されるようにしたが、これに限られるものではないことは勿論であり、n型不純物原料E(TESi)の供給が終了したタイミングT2の後に、所定のページ時間を介して結晶原料C(NH_3)の供給が開始されるようにしてもよい。

【0176】

(4) 上記した実施の形態ならびに上記(1)乃至(3)に示す変形例は、適

宜に組み合わせるようにしてよい。

【0177】

【発明の効果】

本発明は、以上説明したように構成されているので、高伝導度のp型半導体により紫外領域に発光ピークを有して効率良く発光するp型半導体を用いた紫外発光素子を提供することができるようになるという優れた効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明によるp型半導体を用いた紫外発光素子の実施の形態の一例を示し、p型半導体としてMgをドープされたAlGaN（Alの組成53% : Al_{0.53}Ga_{0.47}N : Mg）を用いた紫外発光素子たるLEDの概略構成説明図である。

【図2】

p型半導体を作成する交互供給法を実施するための結晶成長装置の要部概略構成説明図である。

【図3】

交互供給法（第1の手法）により結晶原料と不純物原料とが供給されるタイミングの一例、即ち、原料供給パルスのシーケンスの一例を示すタイミング・チャートである。

【図4】

交互供給法（第1の手法）により形成される半導体材料の結晶構造を模式的に示す説明図である。

【図5】

交互供給法（第2の手法）により結晶原料と不純物原料とが供給されるタイミングの一例、即ち、原料供給パルスのシーケンスの一例を示すタイミング・チャートである。

【図6】

交互供給法（第2の手法）により形成される半導体材料の結晶構造を模式的に示す説明図である。

【図7】

第1の手法ならびに第2の手法によって半導体材料としてAlGaN結晶の層を形成するための装置として用いることのできる、有機金属化学蒸着（MOCVD : Metal organic Chemical Vapor Deposition）装置の概略構成説明図である。

【図8】

図7の要部概略構成説明図である。

【図9】

図7の反応管を示す概略構成説明図である。

【図10】

第1の手法により半導体材料としてAlGaN結晶を形成する際に結晶原料と不純物原料とを供給するタイミングの一例、即ち、AlGaNを形成する際の原料供給パルスのシーケンスの一例を示すタイミング・チャートである。

【図11】

第1の手法によって図10に示すAlGaNを形成する際の原料供給パルスのシーケンスにより形成されるAlGaNの結晶構造を模式的に示す説明図である。

【図12】

第2の手法により半導体材料としてAlGaN結晶を形成する際に結晶原料と不純物原料とを供給するタイミングの一例、即ち、AlGaNを形成する際の原料供給パルスのシーケンスの一例を示すタイミング・チャートである。

【図13】

第2の手法によって図12に示すAlGaNを形成する際の原料供給パルスのシーケンスにより形成されるAlGaNの結晶構造を模式的に示す説明図である。

【図14】

図7乃至図10に示す装置構成ならびに条件（第1の手法）により本願発明者が作成したAlGaN結晶の評価結果を示すグラフであり、第1の手法により作成したMgをドープしたAlGaNと従来の技術により作成したMgをドープし

たAlGaNとの正孔濃度の温度依存性を示すグラフである。

【図15】

図8乃至図9ならびに図12に示す装置構成ならびに条件（第2の手法）により本願発明者が作成したAlGaN結晶の評価結果を示すグラフであり、第2の手法により作成したMgとSiとをドープしたAlGaNと従来の技術により作成したMgをドープしたAlGaNとの正孔濃度の温度依存性を示すグラフである。

【図16】

MgとSiとをドープしたAlGaNの正孔濃度のSi供給量依存性を示すグラフである。

【図17】

LEDタイプIの紫外出力スペクトルを示すグラフである。

【図18】

LEDタイプIIの紫外出力スペクトルを示すグラフである。

【図19】

LEDタイプIIIの紫外出力スペクトルを示すグラフである。

【符号の説明】

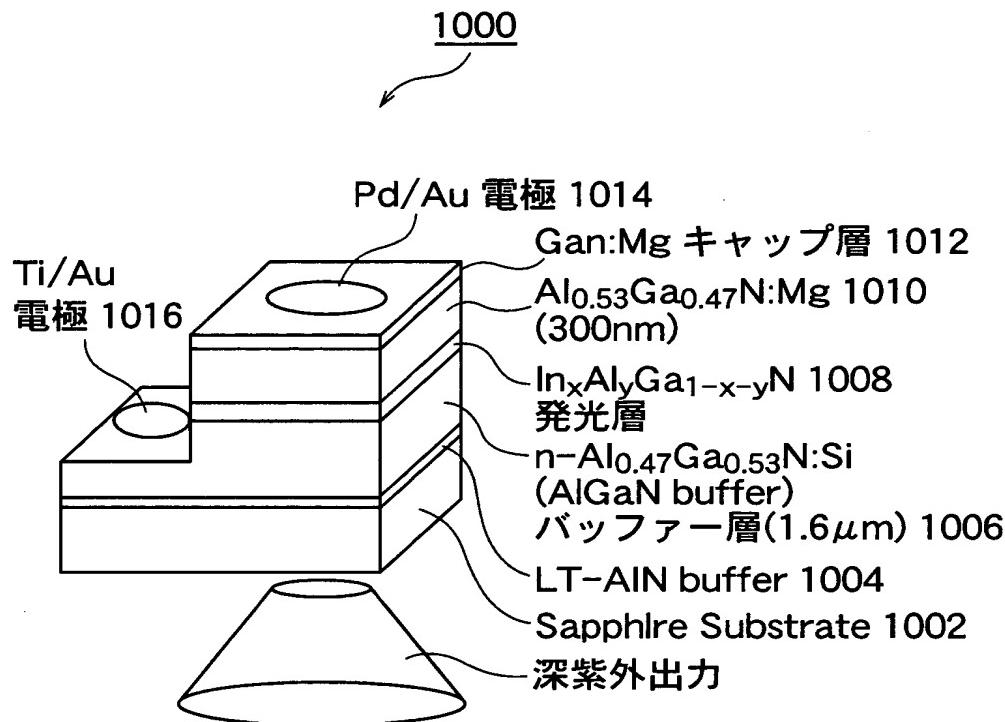
| | |
|--------------------|---------------------|
| 1 0 | MOCVD装置 |
| 1 2 | 反応管 |
| 1 4, 1 5, 1 8, 2 0 | バブラー |
| 1 6-1, 1 6-2 | NH ₃ ボンベ |
| 2 2 | H ₂ ボンベ |
| 2 4 | N ₂ ボンベ |
| 2 6 | 制御装置 |
| 2 8 | 排気装置 |
| 3 0 | 排ガス処理装置 |
| 3 2 | 基板加熱用高周波コイル |
| 3 4 | カーボンサセプター |
| 3 6 | 熱電対 |

| | |
|---|---|
| 40, 42, 43 | 石英管 |
| 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 75 | MFC |
| 57, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 77, 80, 91, 92 | ガスバルブ |
| 70 | 水素純化装置 |
| 72, 73, 74, 76 | 恒温槽 |
| 81 | 減圧弁 |
| 100 | 基板 |
| 200 | 基板(サファイア基板) |
| 202 | A1N低温バッファー層(LT-A1N buffer) (e r) |
| 204 | A1GaNバッファー層(A1GaN buffer) (r) |
| 502 | 不純物原料Dがドーピングされた結晶原料Aおよび 結晶原料Bからなる層 |
| 504 | 結晶原料Cからなる層 |
| 702 | 不純物原料Dと不純物原料Eとがドーピングされた 結晶原料Aおよび結晶原料Bからなる層 |
| 704 | 結晶原料Cからなる層 |
| 1000 | LED |
| 1002 | サファイア基板 |
| 1004 | A1N低温バッファー層(LT-A1N buffer) (e r) |
| 1006 | A1GaNバッファー層(A1の組成47% : n - A1 _{0.47} Ga _{0.53} N : Si) |
| 1008 | InAlGaN4元混晶発光層(In _x Al _y Ga 1-x-y ^N) |
| 1010 | A1GaN層(A1の組成53% : A1 _{0.53} G a _{0.47} N : Mg) |

| | |
|------|---------------------------------|
| 1012 | キャップ層 |
| 1014 | Pd/Au (パラジウム/金) 電極 |
| 1016 | Ti/Au (チタン/金) 電極 |
| 1406 | MgがドープされたGaおよびAlからなる層 |
| 1408 | Nからなる層 |
| 1606 | MgとSiとがドーピングされたGaおよびAlか らなる層 |
| 1608 | Nからなる層 |

【書類名】図面

【図1】

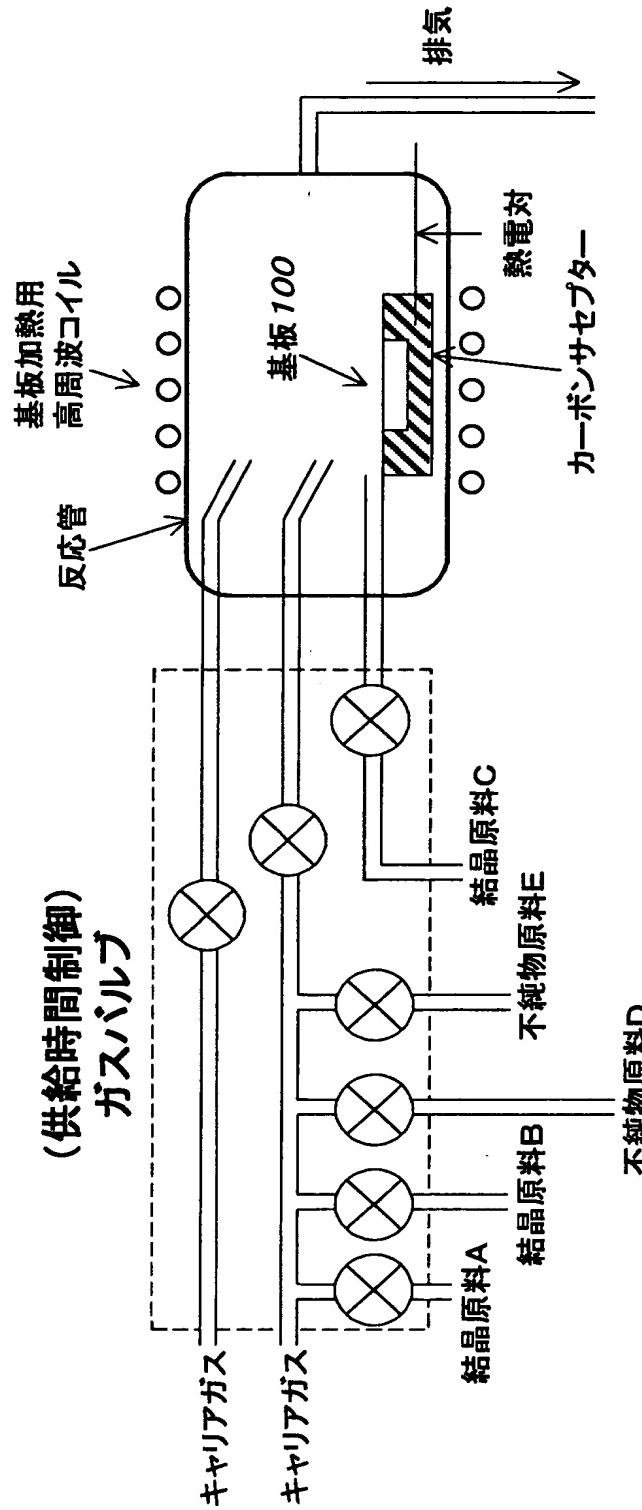


LEDタイプ I: InAlGaN発光層あり (発光波長 $\lambda = 308\text{nm}$)
 $(In_xAl_yGa_{1-x-y}N : x = 0.02, y = 0.44)$

LEDタイプ II: InAlGaN発光層あり (発光波長 $\lambda = 314\text{nm}$)
 $(In_xAl_yGa_{1-x-y}N : x = 0.02, y = 0.40)$

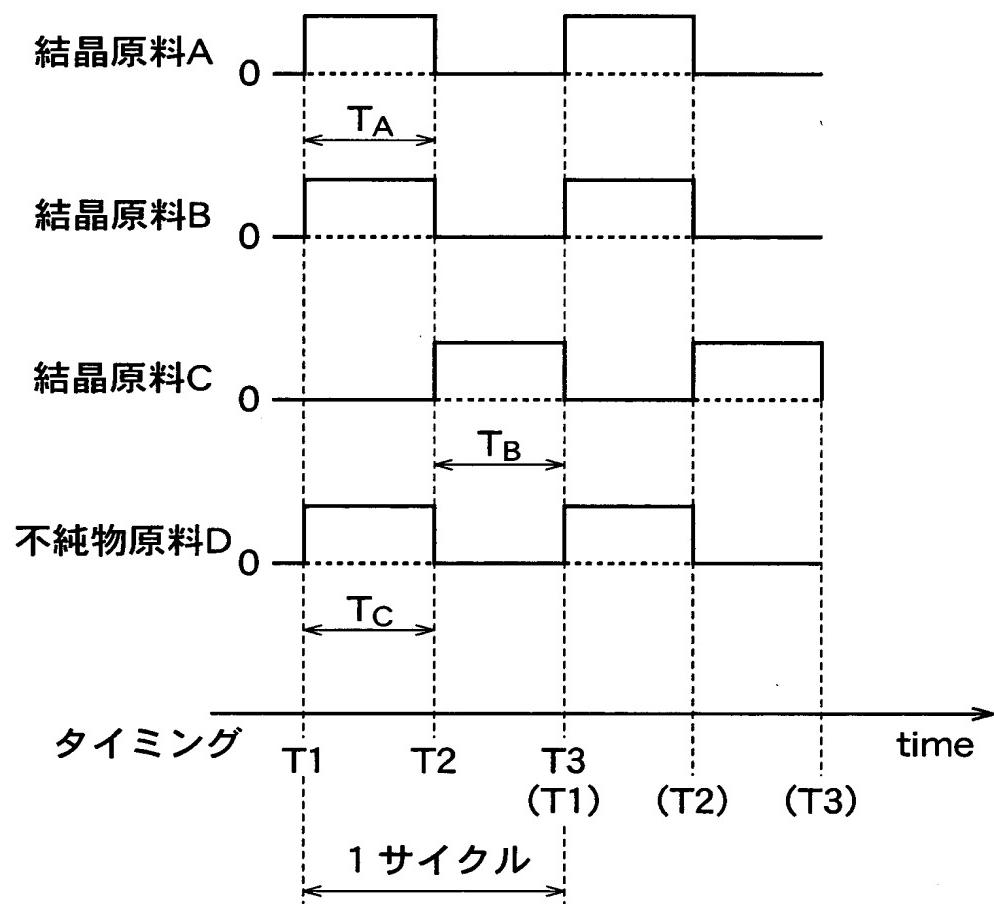
LEDタイプ III: InAlGaN発光層なし

【図2】



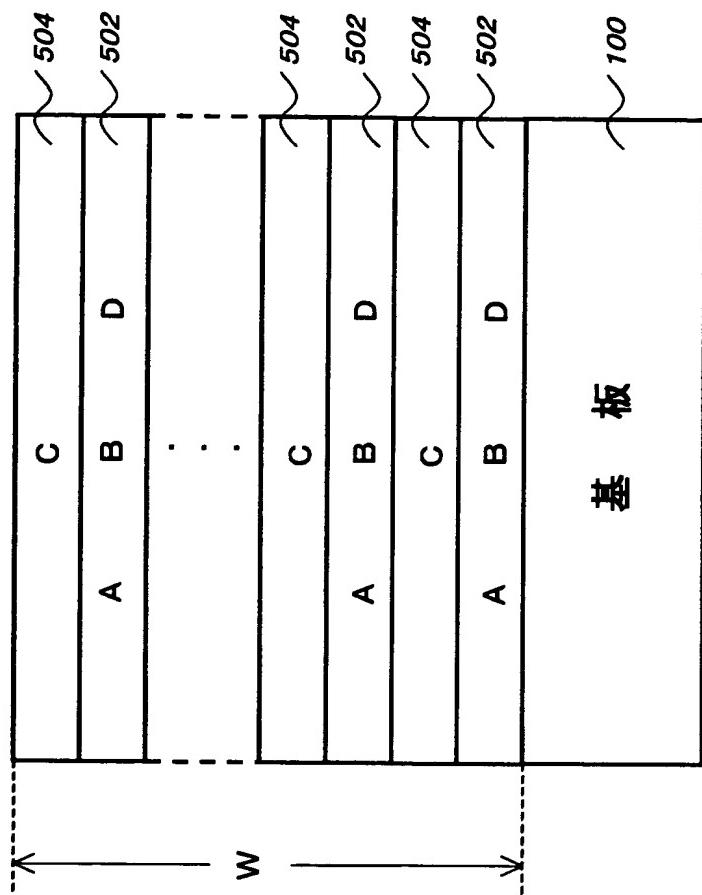
【図3】

原料供給パルスのシーケンス

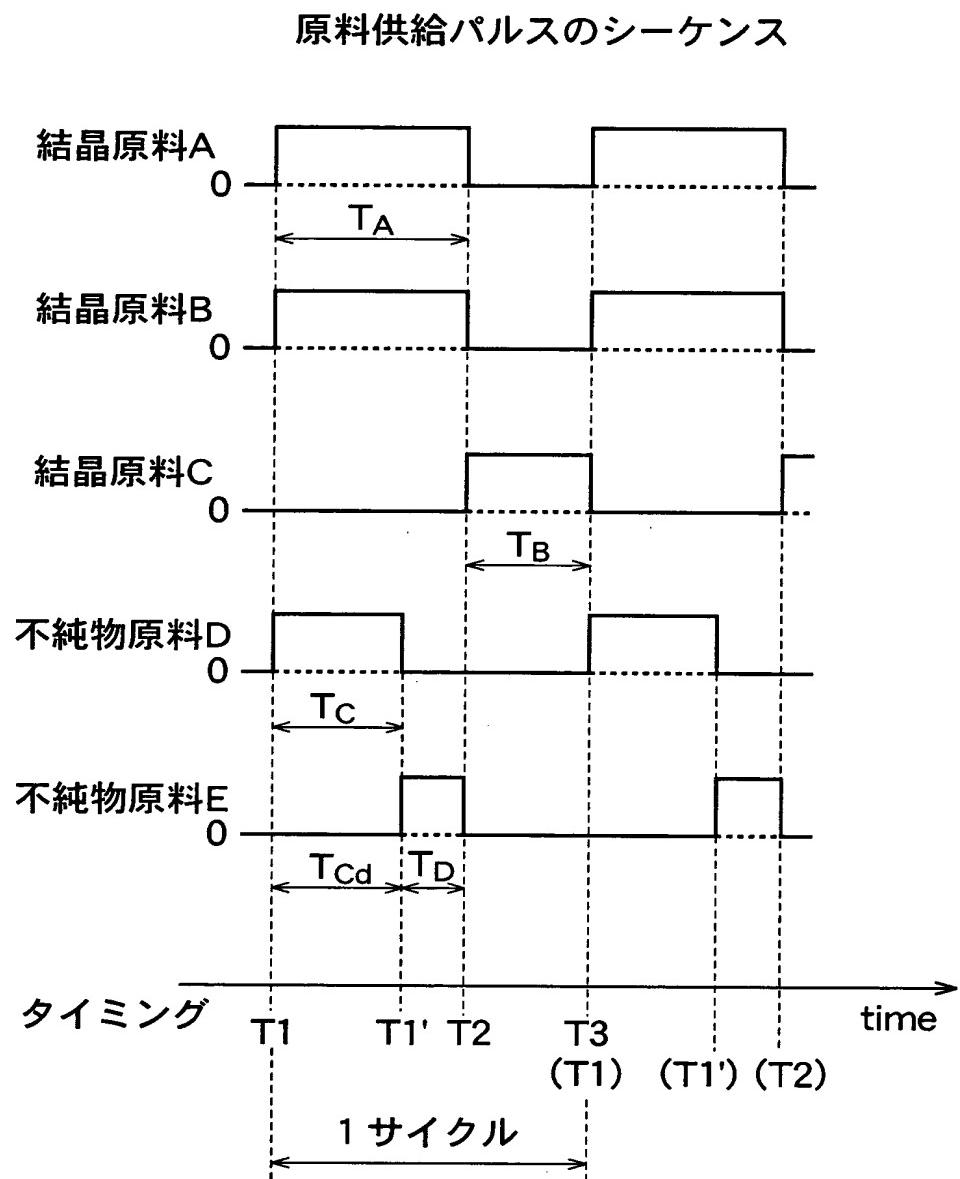


【図4】

図4に示すタイミングに従つて形成される結晶構造

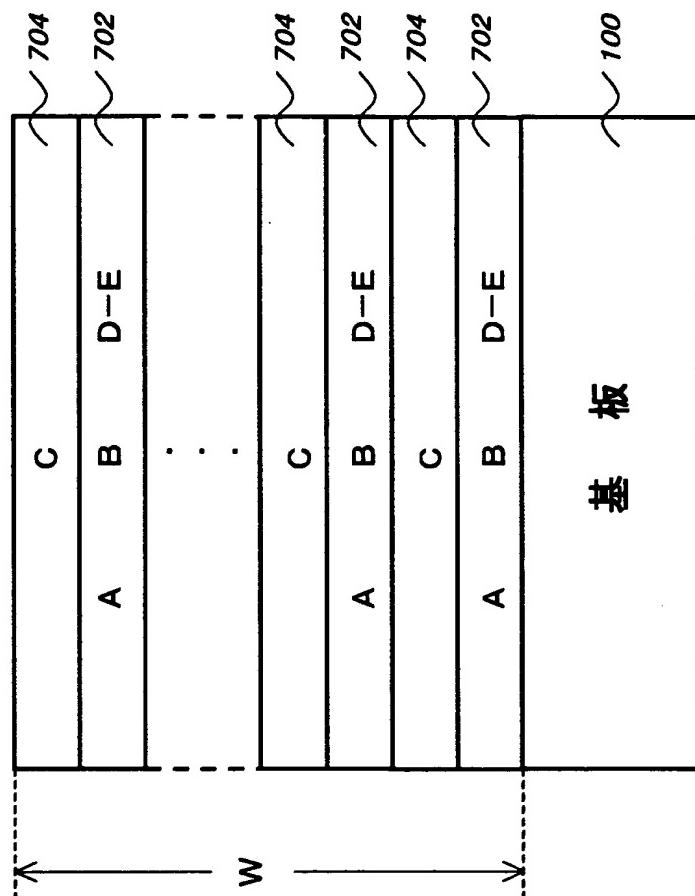


【図5】



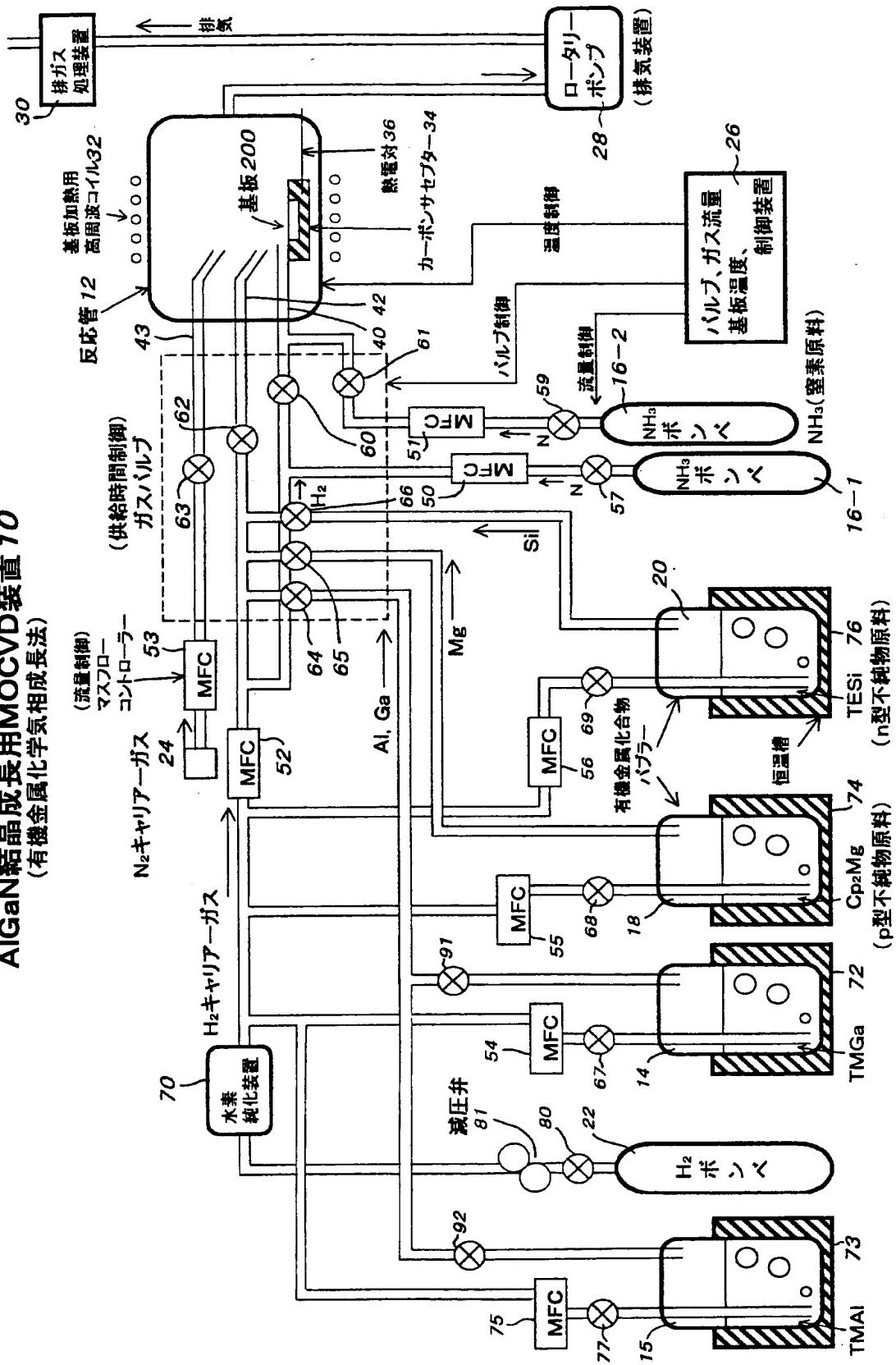
【図6】

図6に示すタイミングに従つて形成される結晶構造



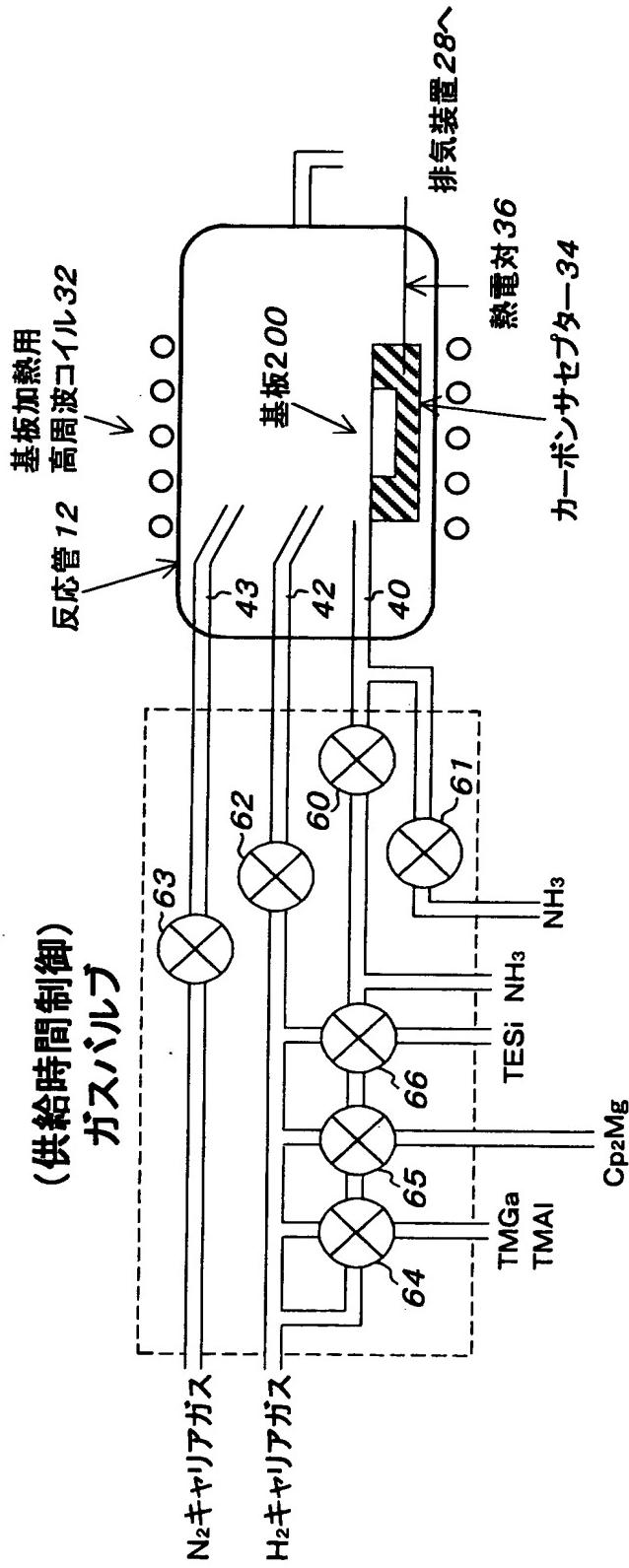
【図7】

AlGaN結晶成長用MOCVD装置10
(有機金属化合物相成長法)



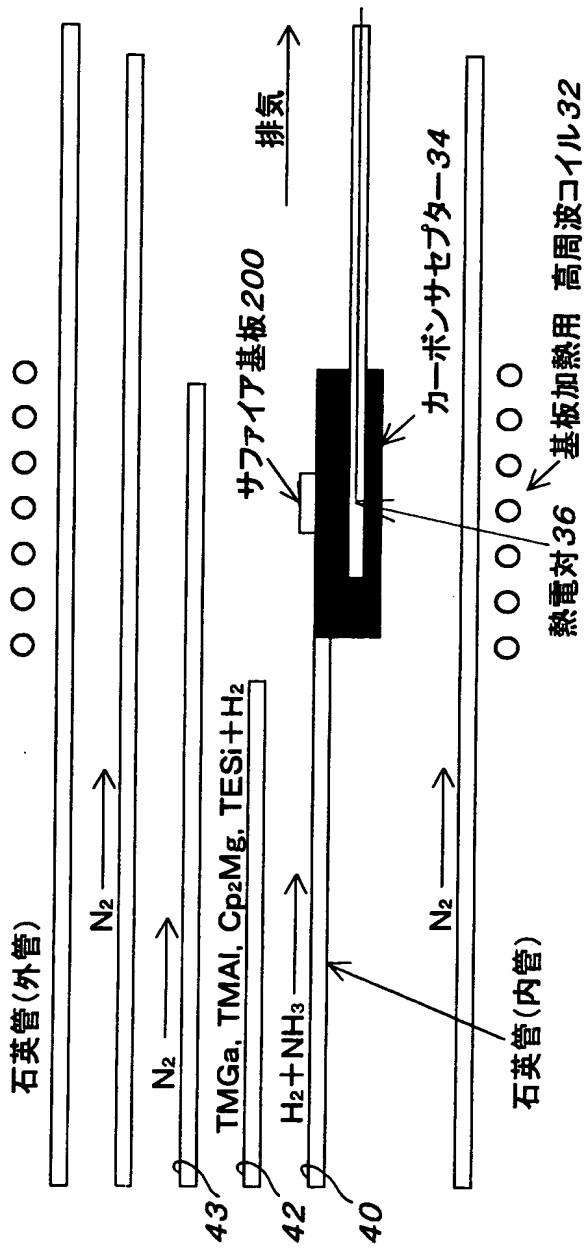
【図8】

AlGaN結晶成長用MOCVD装置 10
(有機金属化学気相成長法)



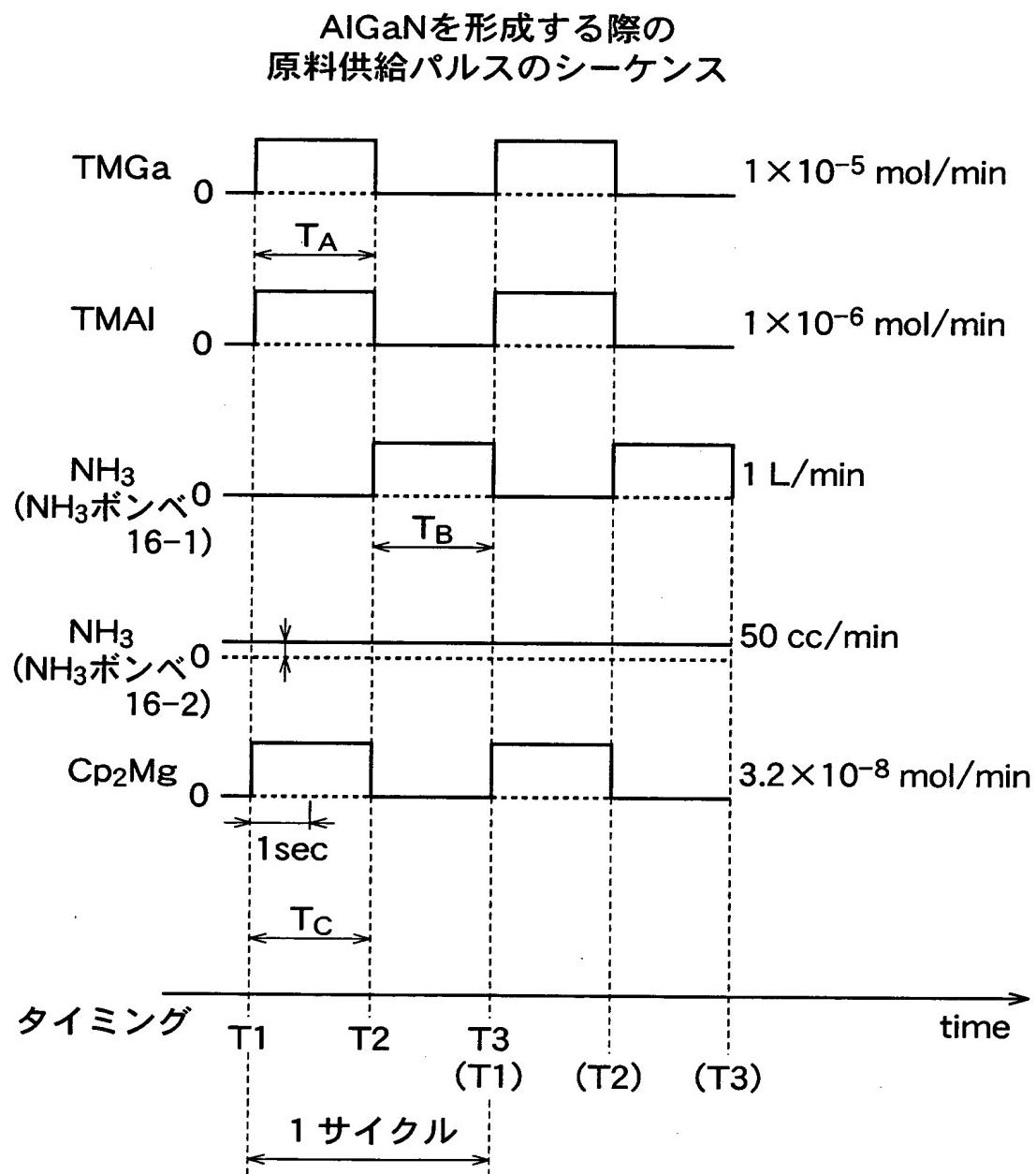
【図9】

MOCVD反応管の概略図

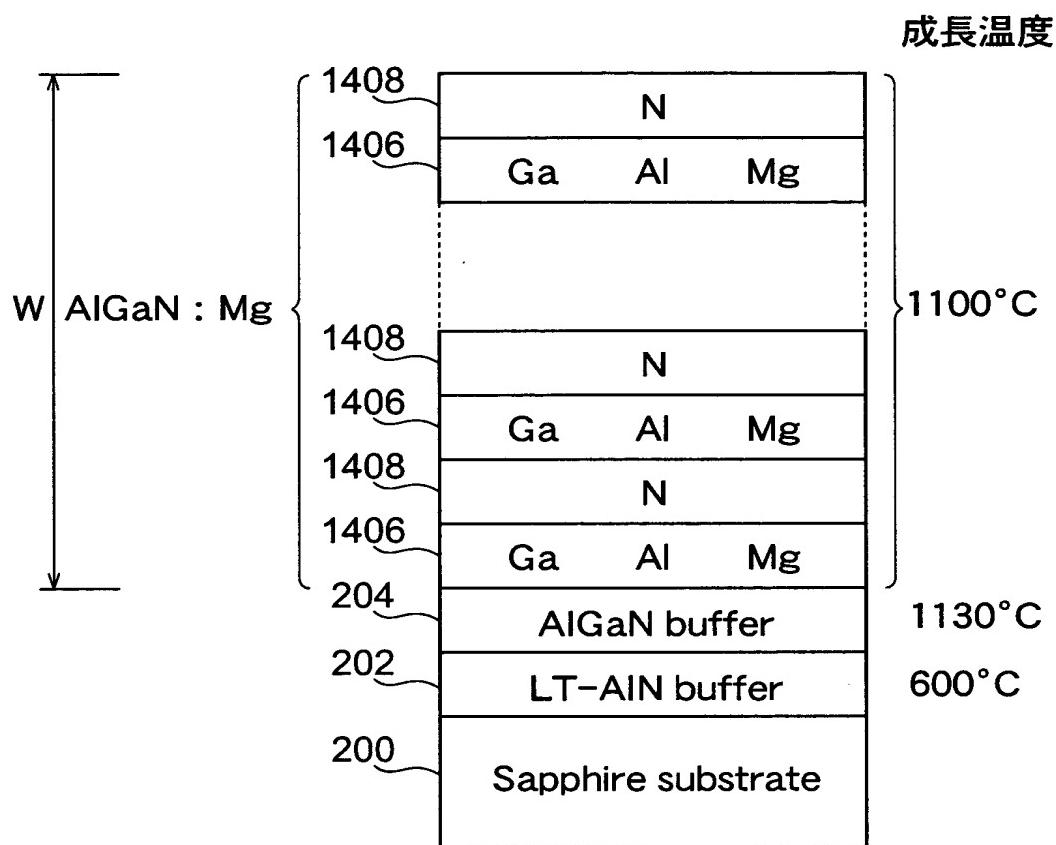


反応管内圧力: 76Torr

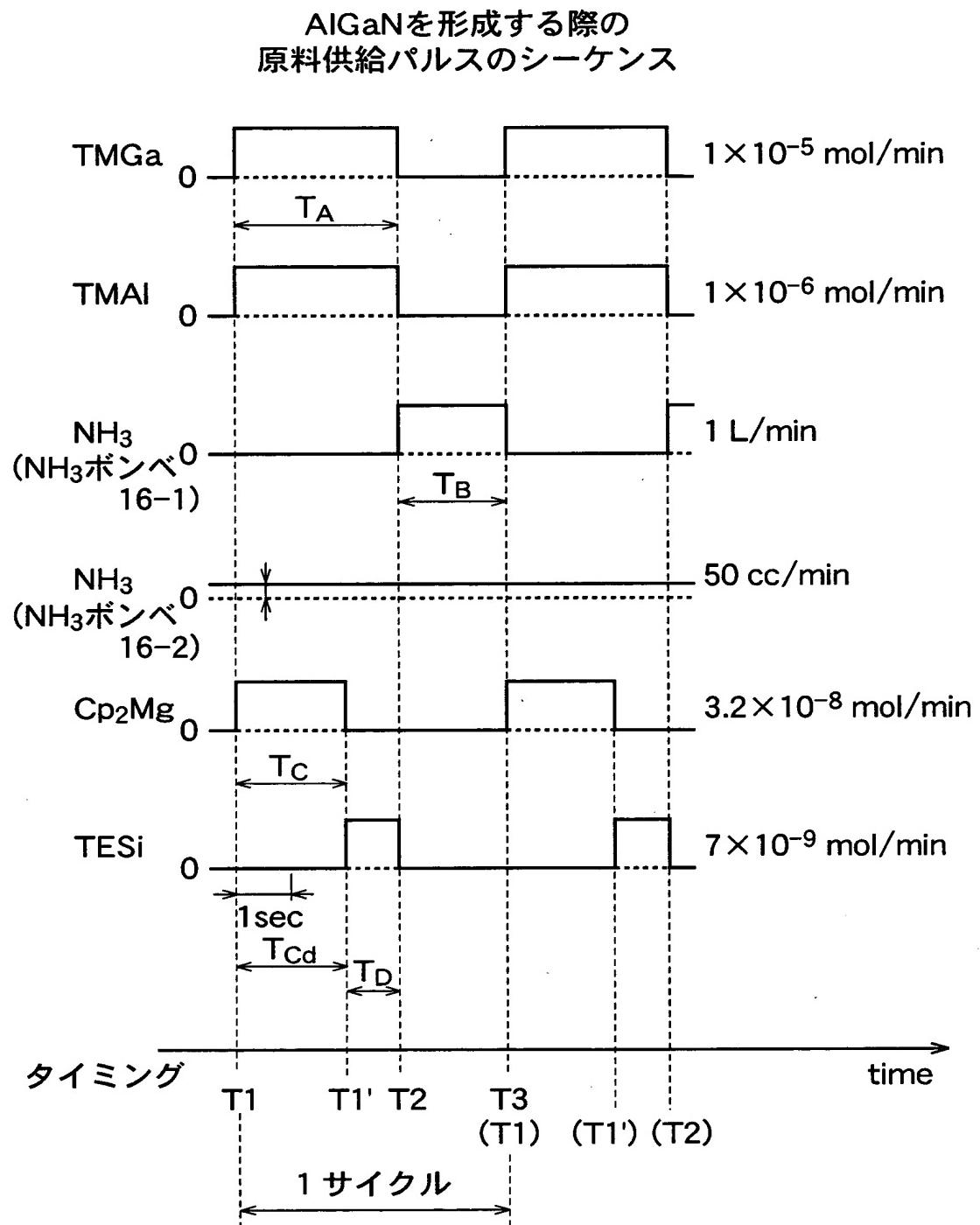
【図10】



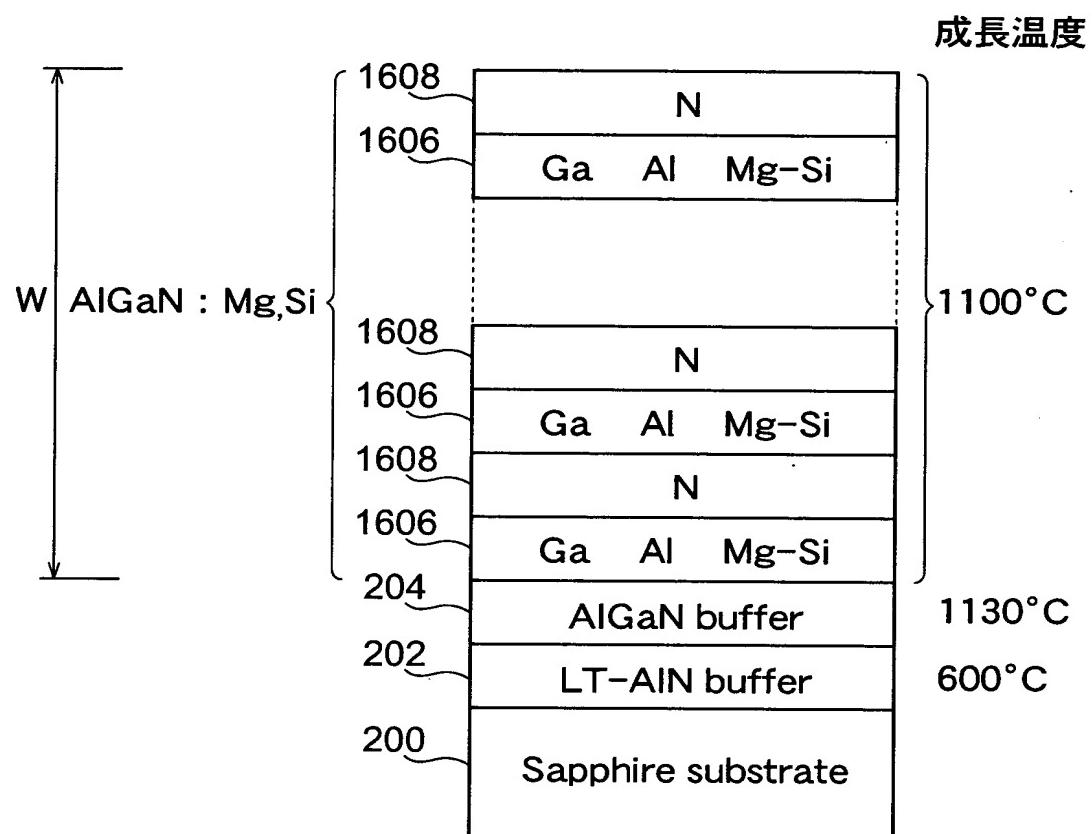
【図11】



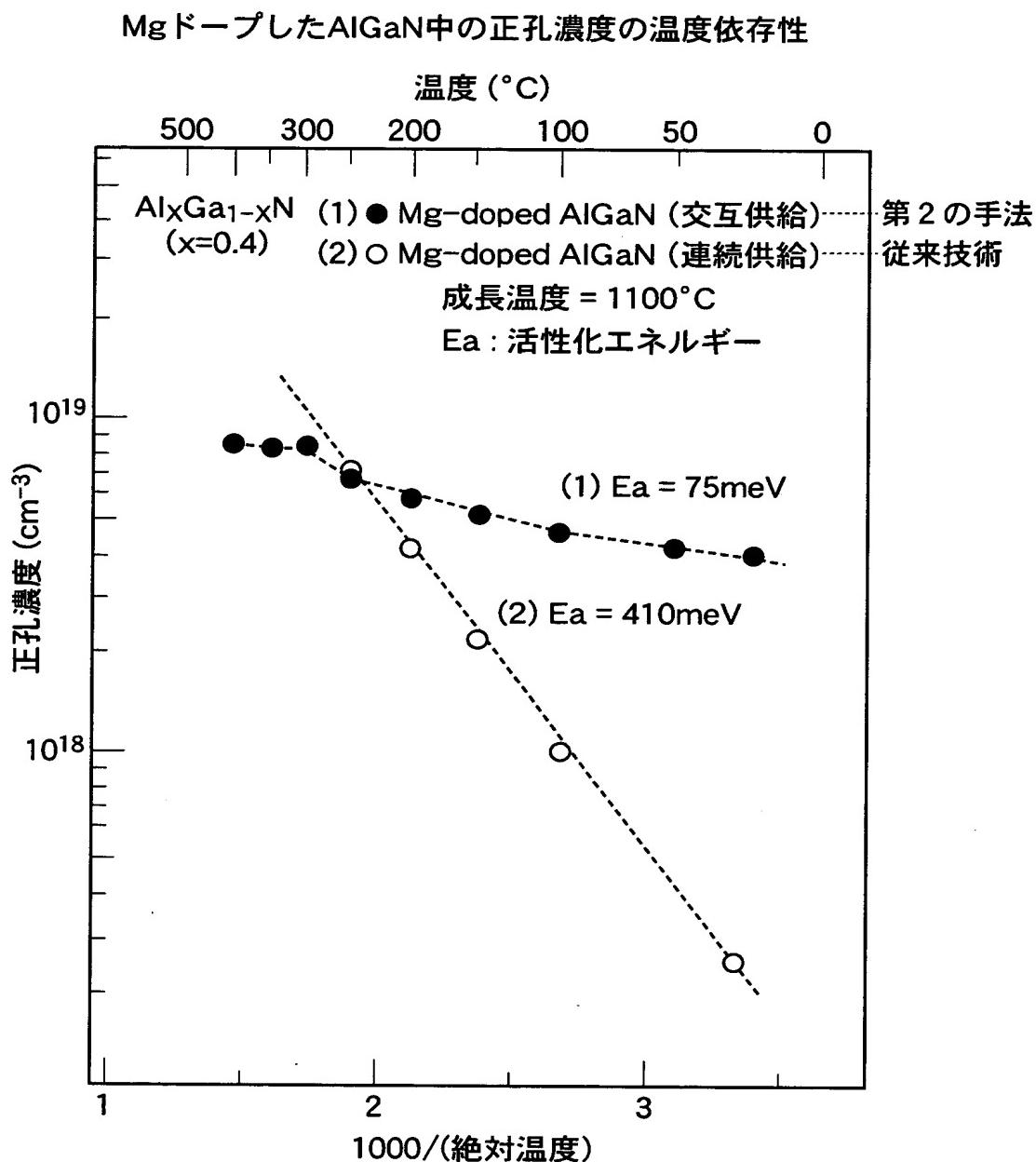
【図12】



【図13】

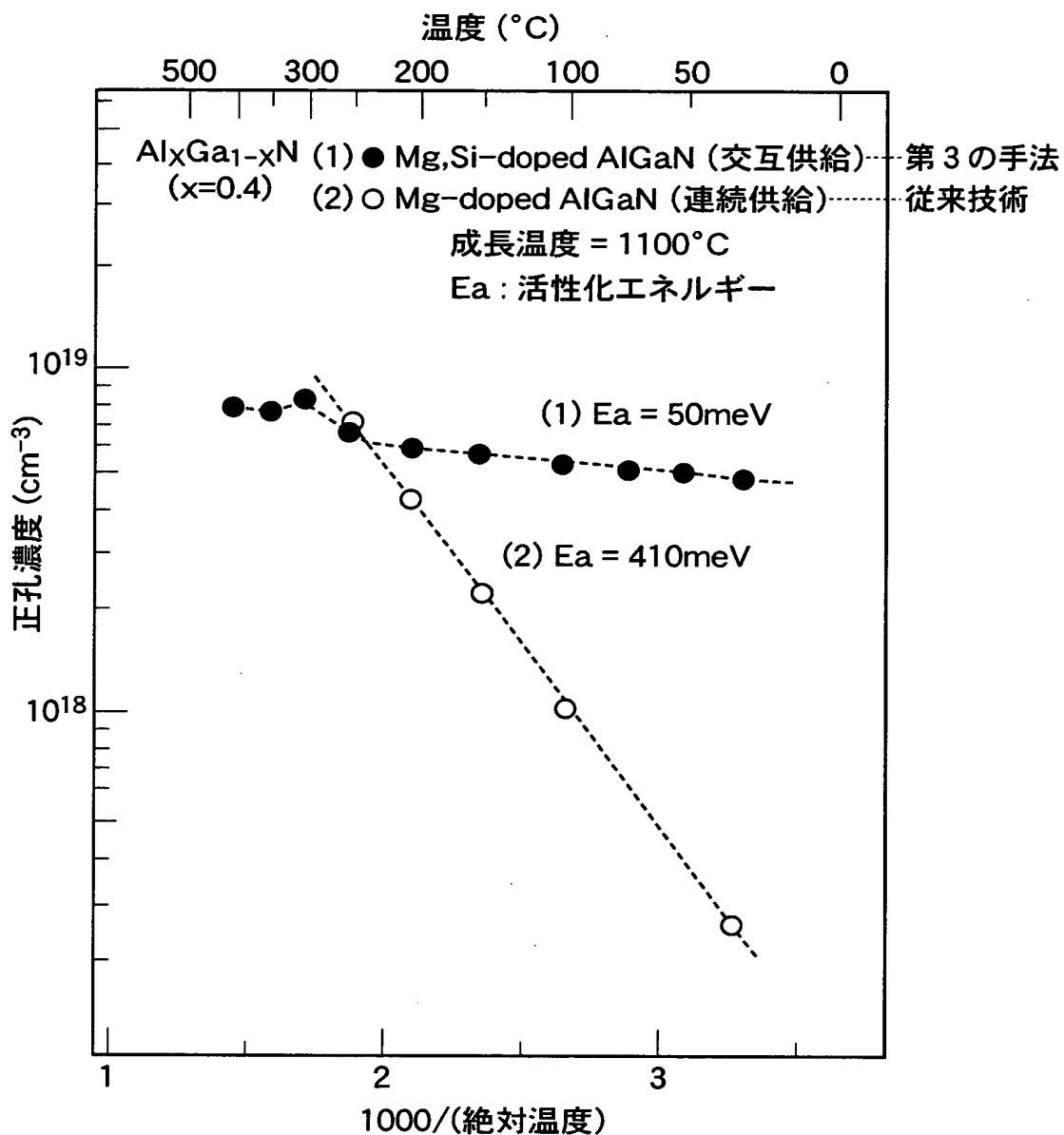


【図14】



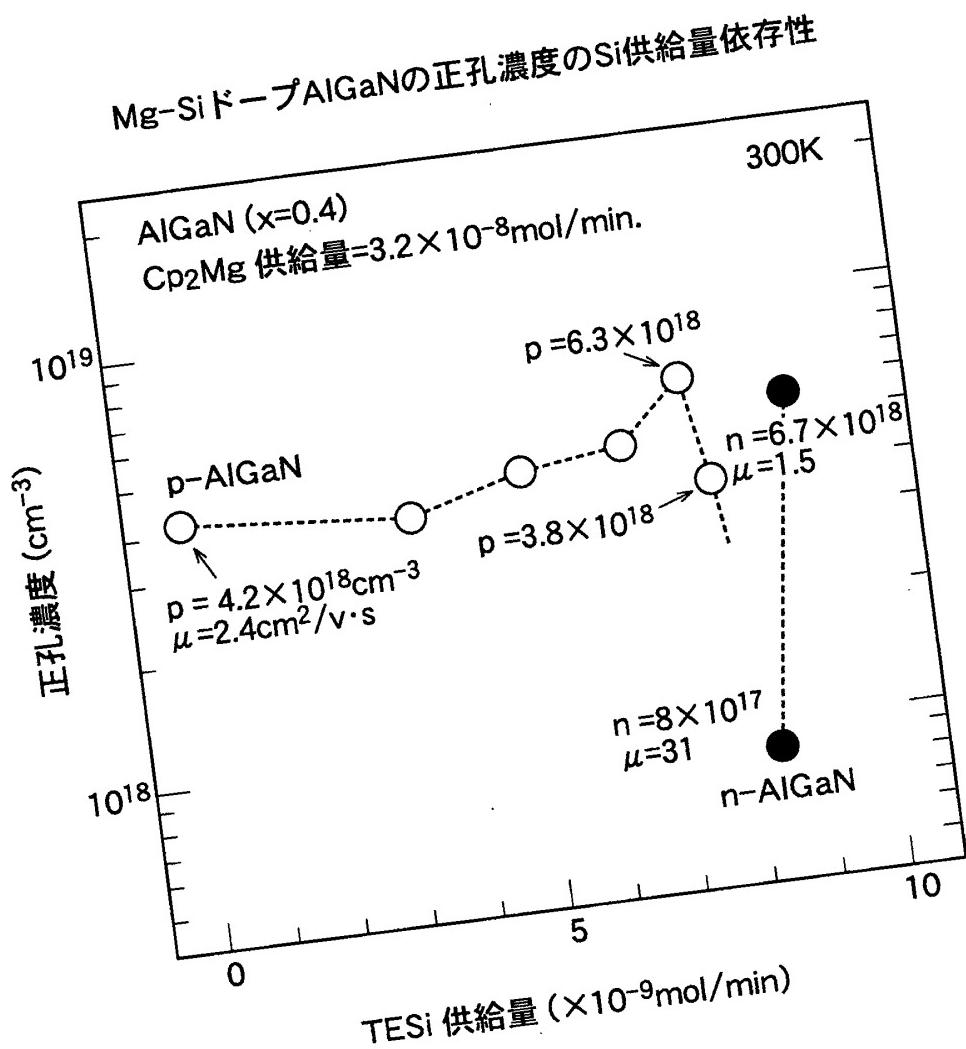
【図15】

MgとSiをドープしたAlGaN中の正孔濃度の温度依存性



特2003-017397

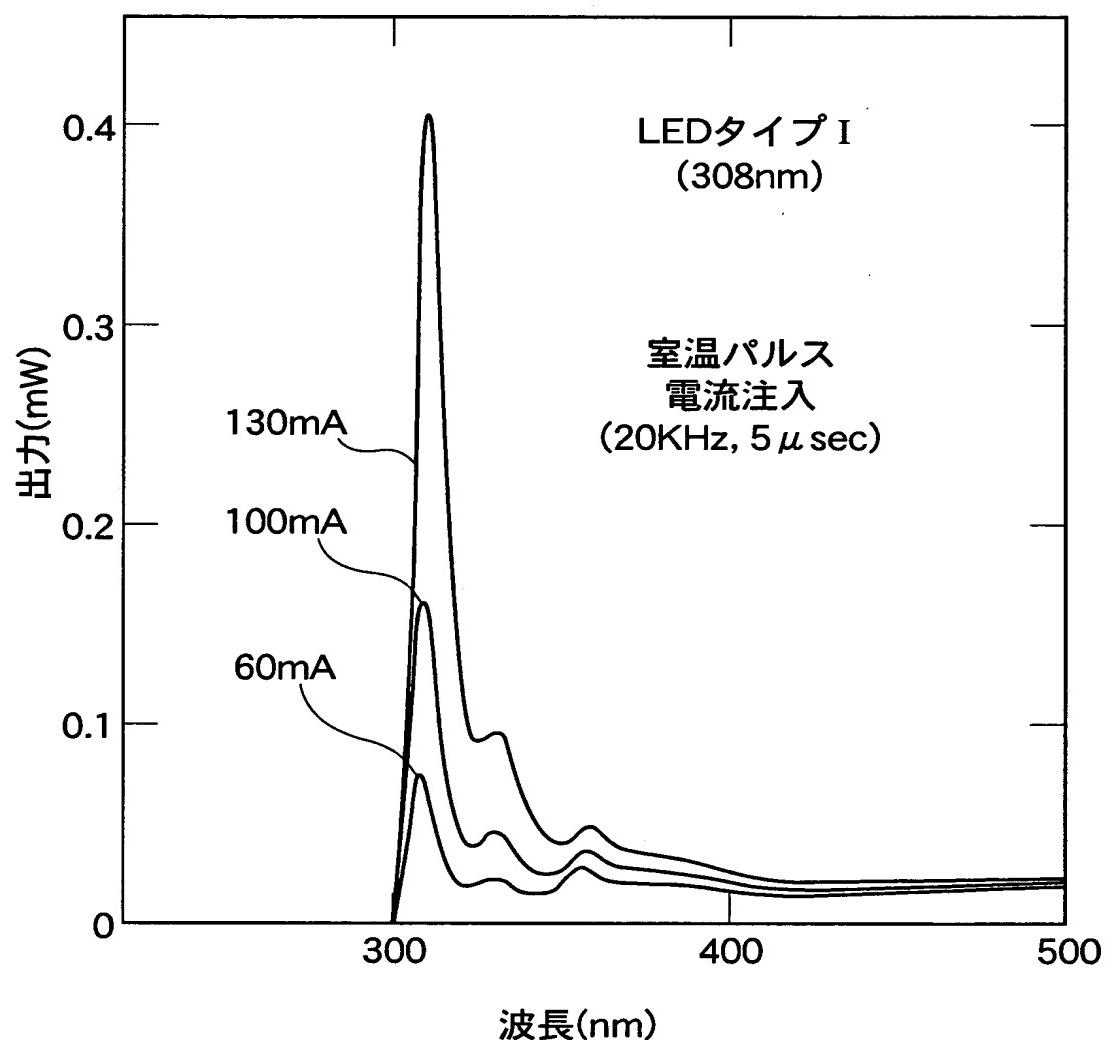
【図16】



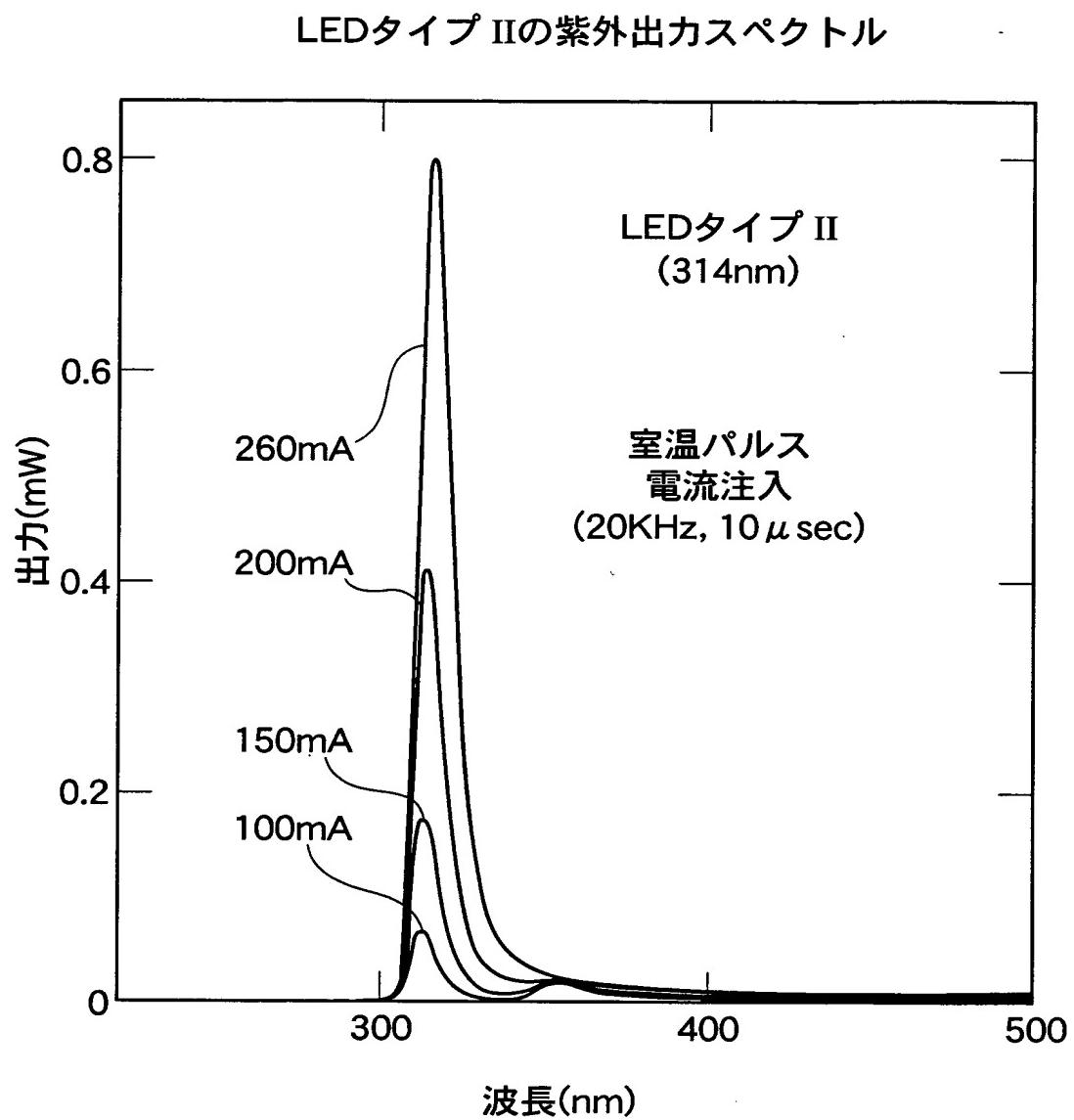
出証特2003-3047322

【図17】

LEDタイプIの紫外出力スペクトル

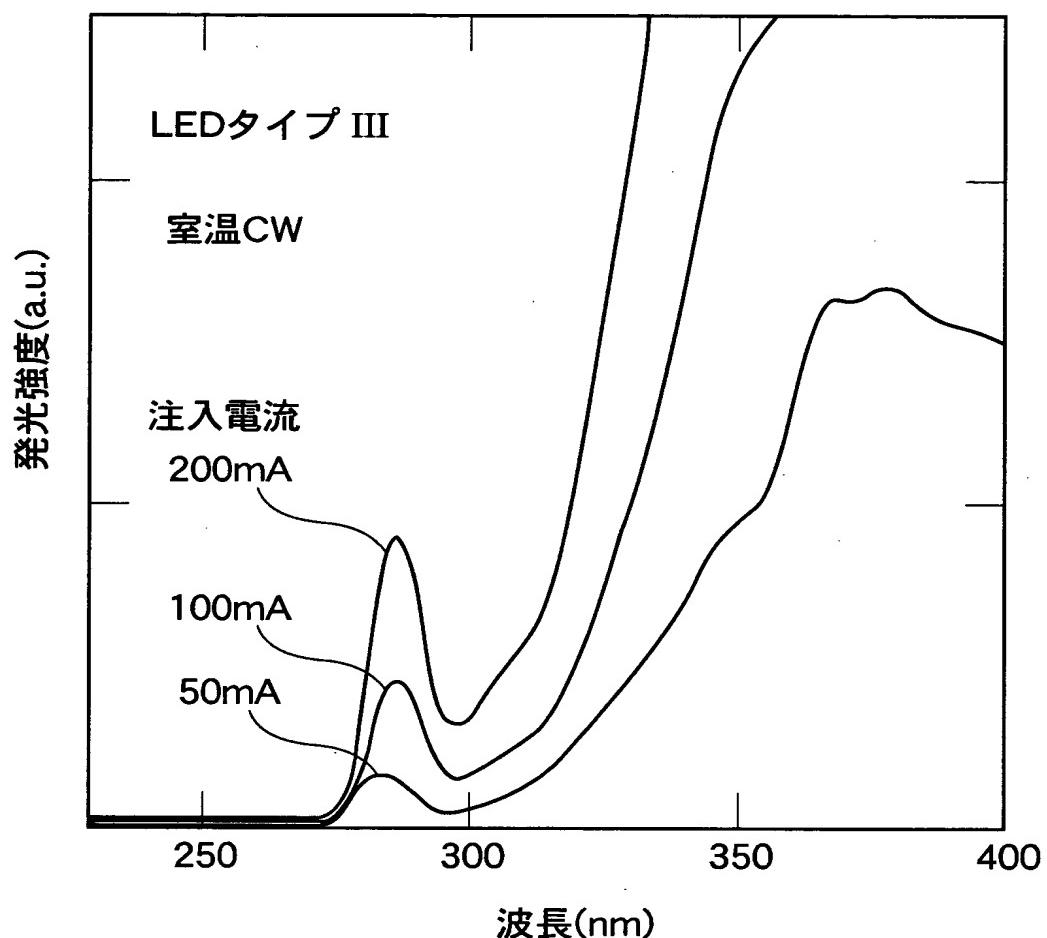


【図18】



【図19】

LEDタイプIIIの紫外出力スペクトル



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高伝導度のp型半導体により紫外領域に発光ピークを有して効率良く発光するp型半導体を用いた紫外発光素子を提供する。

【解決手段】 p型半導体を用いた紫外発光素子において、上記p型半導体は、複数種類の結晶原料を交互にパルス状に供給して結晶成長を行うときに、上記複数種類の結晶原料の全ての種類の供給が1回ずつ行われる1サイクル内において、所定の種類の結晶原料の供給開始と同時あるいは後であり、かつ、上記所定の種類以外の種類の結晶原料の供給開始より前において、p型不純物原料を供給して形成したものである。

【選択図】 図1

出願人履歴情報

識別番号 [000006792]

1. 変更年月日 1990年 8月28日
[変更理由] 新規登録
住 所 埼玉県和光市広沢2番1号
氏 名 理化学研究所